

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Geografie a kartografie



Jiří Navrátil

EL NIÑO / JIŽNÍ OSCILACE A JEHO GEOGRAFICKY VZDÁLENÉ PROJEVY

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Praha 2016

Zadání bakalářské práce

Název práce:

El Niño / Jižní oscilace a jeho geograficky vzdálené projevy

Cíle práce:

1. Zpracovat rešerši na téma El Niño / Jižní oscilace (ENSO), jeho podstata a projevy a jím vyvolané dálkové vazby, tj. vliv na klimatické anomálie v geograficky vzdálených oblastech.
2. Na klimatických datech z předem zvolené oblasti dokumentovat vliv ENSO na meteorologické proměnné (teplota, srážky).

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Data: staniční klimatická data (teplota, srážky) z databáze GHCN (Global Historical Climatology Network), případně databáze hodnot interpolovaných do sítě uzlových bodů (např. CRU); indexy ENSO např. z webu Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich, UK.

Časové období analýzy bude zvoleno podle dostupnosti dat. Analýza bude provedena odděleně pro jednotlivá roční období.

Vhodná metoda analýzy bude zvolena na základě studia literatury; půjde buď o kompozitní analýzu nebo lineární korelace.

Datum zadání: 1.12.2015

Jméno studenta: Jiří Navrátil

Jméno školitele: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Podpis studenta:

Podpis školitele:

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu své bakalářské práce RNDr. Radanu Huthovi, DrSc. za neobyčejně laskavé vedení této práce se vším, co k tomu náleželo. Dále bych rád poděkoval svým spolužákům za bezpočet drobných rad týkajících se především technických a praktických detailů při zpracovávání této práce s využitím výpočetní techniky. A především chci poděkovat své rodině, která mi umožnila se vůbec studiu a vypracování této práce naplno věnovat a v případě potřeby mi vždy pomohla a vyšla vstříc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 17.5.2016

.....

Abstrakt

V úvodu práce je stručně nastíněn vývoj výzkumu fenoménu ENSO (El Niño-Southern Oscillation) a různé způsoby, jimiž je možné ENSO definovat. Je popsán základní mechanismus, kterým ENSO ovlivňuje podnebí v oblasti Tichého oceánu. Stěžejní část práce pak tvoří rešerše převážně zahraniční literatury týkající se geograficky vzdálených projevů ENSO. Jsou popsány klimatické anomálie, k nimž dochází při El Niño nebo La Niña v různých částech světa. Ve druhé části práce je pak pomocí korelačních koeficientů mezi hodnotami indexu jižní oscilace (SOI) – jako jednoho z možných ukazatelů ENSO – a odchylkami měsíčních srážkových úhrnů v období od ledna 1966 do prosince 2015 ilustrován vliv ENSO na srážkové poměry na Pyrenejském poloostrově. Dosažené výsledky jsou diskutovány s literaturou uvedenou v rešeršní části.

Klíčová slova: El Niño, Jižní Oscilace, teplota, srážky, dálkové vazby

Abstract

In the introductory part, a brief review of development of ENSO research is given, together with different ways of ENSO definitions. A basic description of the mechanism through which ENSO influences climate in the Pacific region follows. Summary of ENSO-related climate anomalies in different parts of the world as described in literature constitutes crucial part of the work. In the second part, the ENSO influence on precipitation on the Iberian Peninsula is illustrated using correlation coefficients between values of Southern Oscillation Index (SOI) – one of the possible ENSO indicators – and monthly mean precipitation anomalies from January 1966 and December 2015. The results are discussed with related literature used in the previous part of the work.

Keywords: El Niño, Southern Oscillation, temperature, precipitation, remote links

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	REŠERŠNÍ ČÁST	8
2.1.	ENSO	8
2.1.1	Vývoj výzkumu ENSO	8
2.1.2	Definice ENSO	10
2.1.3	Projevy ENSO v tropickém Pacifiku	14
2.2.	Dálkové projevy ENSO	19
2.2.1	Význam výzkumu dálkových vazeb ENSO	19
2.2.2	Střední Amerika a pacifická Jižní Amerika	21
2.2.3	Austrálie	24
2.2.4	Indonésie	27
2.2.5	Indie	28
2.2.6	Východní Asie	29
2.2.7	Severní Pacifik	30
2.2.8	Severní Amerika	31
2.2.9	Jižní Amerika	36
2.2.10	Antarktida	40
2.2.11	Arktida	41
2.2.12	Evropa	42
2.2.13	Afrika	45
3	PRAKTICKÁ ČÁST	49
3.1	Data	49
3.2	Výběr stanic	51
3.3	Použité metody	51
3.4	Interpretace a diskuze výsledků	53

3.4.1	„Sušší“ regiony Pyrenejského poloostrova	54
3.4.2	A Coruña	56
3.4.3	Bilbao	57
3.5	Shrnutí	58
4	ZÁVĚR	59
5	POUŽITÉ ZDROJE	61

1 Úvod

El Niño – Jižní oscilace (ENSO) je dnes již nejen odborné veřejnosti známý fenomén. Trenberth (1997b) cituje Ropelewského a Halperta (1987) a (1989), kteří prohlásili ENSO za největší zdroj přirozené proměnlivosti klimatu na Zemi po střídání ročních dob. Vzhledem k tomu, že to je dáno primárně extraterestrickými vlivy, lze tedy o ENSO tvrdit, že se jedná o největší zdroj proměnlivosti klimatu přímo na Zemi a v její atmosféře. V posledních několika desetiletích výzkum tohoto fenoménu zaznamenal obrovský pokrok. Zatímco teprve v roce 1969 bylo zjištěno, že El Niño a Jižní oscilace spolu souvisí a ve skutečnosti se jedná o oceánskou, resp. atmosférickou složku téhož fenoménu, už na konci 20. století bylo možné ENSO definovat více způsoby.

Pro studium ENSO dnes můžeme čerpat z nepřehledného množství literatury. Četnými studiemi bylo prokázáno, že ENSO ovlivňuje klima nejen v oblasti Tichého oceánu, kde bylo prvně pozorováno a v průběhu 20. století definováno, ale i v mnoha jiných částech světa. Ovlivnění klimatu určité oblasti může mít značný vliv na tamní hospodářství, zvláště pokud jde o méně rozvinutý region závislý na vlastní zemědělské produkci. Případné extrémní jevy jako např. sucho či naopak povodně mohou pro takové společnosti katastrofální následky. Proto je výzkum dálkových vazeb přenášejících vliv ENSO z oblasti Tichého oceánu do dalších částí světa tak významný.

Právě geograficky vzdálené projevy ENSO jsou tématem této práce. V úvodu rešeršní části je stručně nastíněn vývoj výzkumu ENSO a možné způsoby jeho definice. Následuje popis projevů ENSO přímo v pacifické oblasti. Stěžejní částí práce je rešerše převážně zahraniční literatury týkající se klimatických odchylek způsobených ENSO v různých částech světa. S ohledem na rozsah tématu se práce soustředí na popis dopadů fází ENSO na klima dané oblasti (zejména srážky, příp. teplotu) – mechanismům dálkových vazeb, kterými je vliv ENSO z pacifické oblasti přenášen do dalších částí světa, zde není věnována bližší pozornost. Bylo snahou využít nejnovější relevantní literaturu, aby byla zajištěna co největší aktuálnost prezentovaných poznatků. Druhá, praktická část práce pak ilustruje vliv ENSO na srážkové odchylky na šesti vybraných stanicích na Pyrenejském poloostrově, a to pomocí výpočtu korelačních

koeficientů mezi hodnotami srážkových odchylek a indexem jižní oscilace (SOI) a následnou interpretací dosažených výsledků a jejich diskuzí s literaturou použitou v rešeršní části. Závěrem je uvedeno stručné shrnutí.

2 Rešeršní část

2.1 ENSO

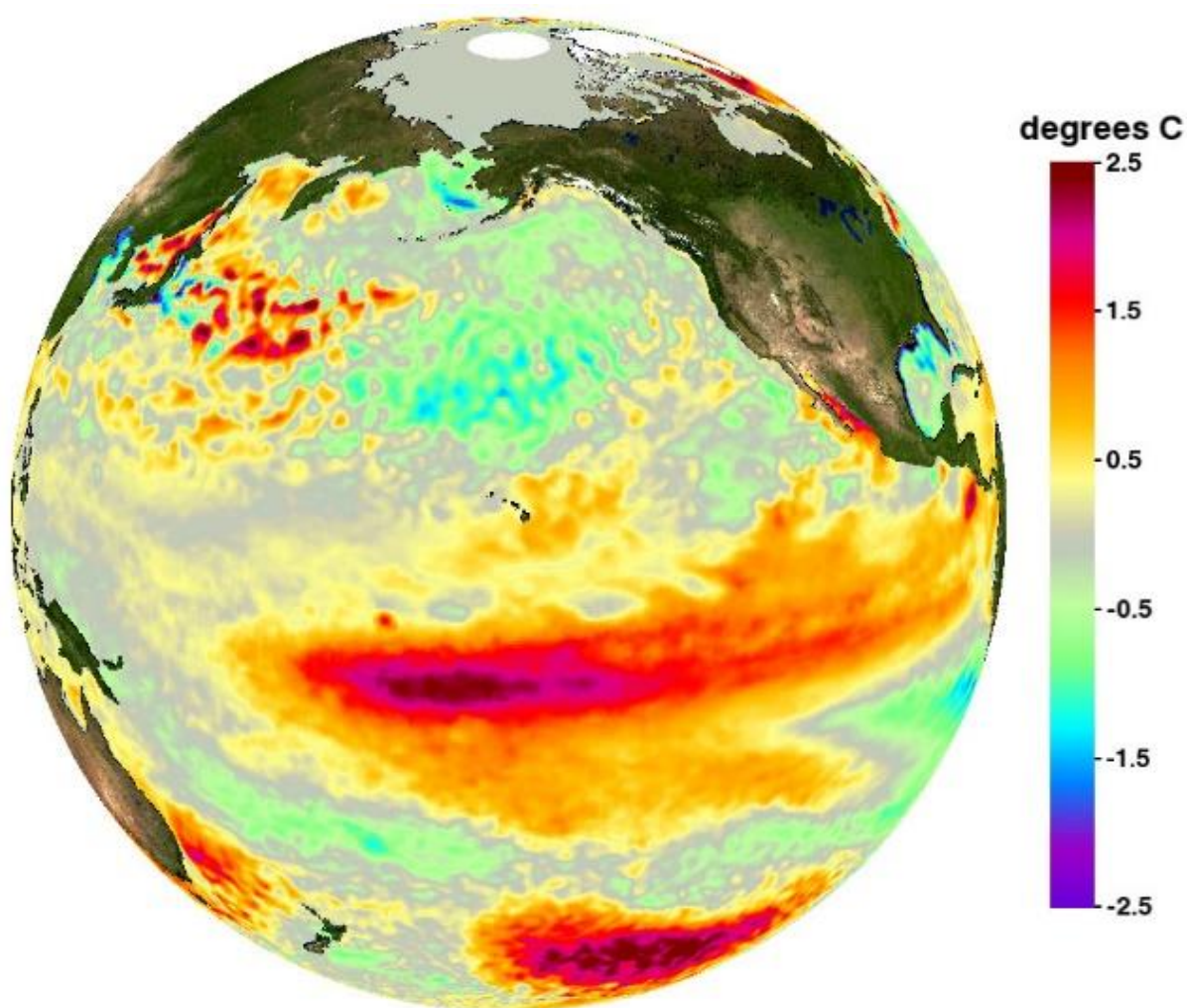
2.1.1 Vývoj výzkumu ENSO

Oteplení povrchových vod při pobřeží Peru a Ekvádoru pozorovali tamní rybáři dávno před počátkem hlubšího výzkumu tohoto jevu ve 20. století (Trenberth 1997b). Jednalo se o teplý proud směřující na jih podél jihoamerického pobřeží, který se vyvíjel pravidelně v období Vánoc – odtud název El Niño, ve španělštině jezulátko (Wang a Fiedler 2006). Již v 19. století peruánští geografové vyzorovali, že v některých letech je intenzita tohoto jevu silnější, až do poloviny 20. století však nebylo jasné, v čem spočívá jeho podstata a že se nejedná jen o příbřežní fenomén (Wang a Picaut 2004).

Ve 20. a 30. letech Sir Gilbert Walker prozkoumal a popsal jev, jenž nazval jižní oscilací (anglicky Southern Oscillation, zkratka SO). Jedná se o opakující se změny tlaku vzduchu redukováného na hladinu moře (SLP = Sea Level Pressure) v tropické části Tichého oceánu mezi východní a západní polokoulí. Wang a Fiedler (2006) ovšem upozorňují, že až do 60. let nebylo El Niño s Jižní oscilací spojováno. To ve své práci prokázal až Bjerknes (1969), který zaznamenal souvislost mezi změnami teploty povrchu moře (SST = Sea Surface Temperature) ve východní části Pacifiku a fází jižní oscilace. Na základě toho zformuloval závěr, že El Niño může být jen oceánskou složkou projevů interakcí mezi atmosférou a oceánem, ke kterým nad tropickým Tichým oceánem dochází. Atmosférická složka pak byla nazvána Walkerovou cirkulací podle objevitele Jižní oscilace. Odtud plyne příležitější označení ENSO (zkratka z El Niño – Southern Oscillation) pro celý popsany systém interakcí, což vhodně zdůrazňuje nedělitelnost jeho atmosférické a oceánské složky. V podobě nesklonné zkratky ENSO je toto označení běžně

užíváno i v české literatuře (viz eMS 2016) a bude tomu tak i v této práci. Termín El Niño je v dnešní literatuře většinou chápán úžeji jako záporná (zejména v anglické literatuře, ale i v meteorologickém slovníku ČMeS běžně označovaná jako teplá) fáze ENSO, naopak kladná (chladná) fáze ENSO je označována termínem La Niña (Trenberth 1997b). Obrázek č. 1 znázorňuje zvýšení teploty povrchu moře v rovníkovém Pacifiku typické pro El Niño, obrázek č. 2 pak naopak ochlazení povrchových vod rovníkového Pacifiku typické pro La Niña.

Obrázek č. 1 – Odchylky teploty povrchu moře (SST) při El Niño 2009-2010 ve stupních Celsia

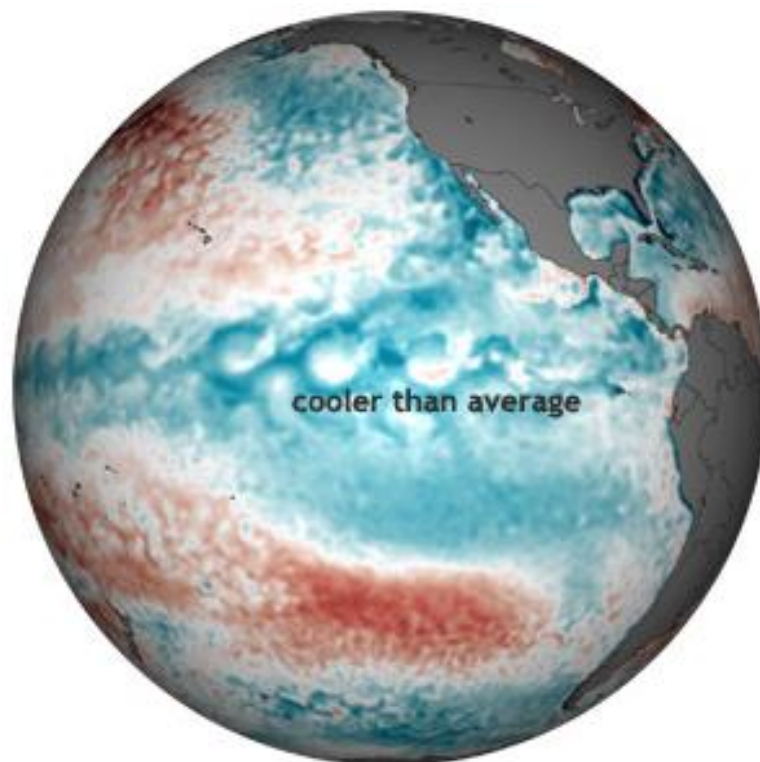


Zdroj: NOAA (2010)

ENSO je zpravidla označováno jako nepravidelný, ale periodický jev, jehož perioda se pohybuje mezi 2 až 7 lety (někteří autoři uvádějí užší periodu 3 – 6 let) a jehož vrcholné fáze (kladná, resp. záporná) trvají zpravidla 1 rok (např. Trenberth 1997a). V literatuře je rovněž často zmiňována závislost vývoje

extrémní fáze ENSO na roční době. Ten je zpravidla vázán na období jara severní polokoule (březen až květen). Proto je toto období nazýváno „predictability barrier“, neboť je určující pro výhled počasí (a při použití americké terminologie lze říct pro předpověď klimatu) na zbytek roku. Jakmile se během tohoto období jedna z fází ENSO vyvine, přetrvá zpravidla minimálně jeden, ale nezdědka i dva roky (Poveda et al. 2000). Ropelewski a Halpert (1987) prohlásili ENSO za globálně nejsilnější zdroj přirozené variability klimatu po střídání ročních dob.

Obrázek č. 2 – Odchytky teploty povrchu moře (SST) v rovníkovém Pacifiku při La Niña v lednu 2011 (modrá signalizuje záporné odchytky, červená kladné; v obou případech platí, že čím sytější odstín, tím větší odchytky)



Zdroj: NOAA (2015)

2.1.2 Definice ENSO

Způsob, jak definovat ENSO, se s vývojem jeho výzkumu mění a lze tvrdit, že není dosud definitivně ustálen. Jak zmiňuje Trenberth (1997b), univerzální definice neexistuje a z různých možností je vždy nutné vybrat nejvhodnější způsob definice ENSO podle účelu práce, přičemž je nutné tuto definici uvést

a počítat s tím, že může ovlivnit výsledky celé práce. Novější literatura (Wolter a Timlin 2011) budiž důkazem, že vznikají stále nové způsoby definice ENSO, a lze očekávat, že s rostoucí dostupností dat o hodnotách různých meteorologických prvků v oblasti celého Tichého oceánu budou vznikat další, případně budou dosavadní způsoby vhodně upravovány.

V literatuře je nezdůvodněno pouze El Niño a od něho je odvozena definice opačné fáze ENSO. Glantz (1996) nabízí následující možnosti definice El Niño:

1. sezónní teplý proud směřující podél peruánského pobřeží na jih
2. příležitostné oteplení jinak chladných vod podél peruánského pobřeží
3. plošné zvýšení teploty povrchu moře (SST) ve východní a centrální části tropického Pacifiku a současně zvýšení tlaku vzduchu redukovaného na hladinu moře (SLP) v západním tropickém Pacifiku.
4. synonymum k ENSO
5. teplá fáze ENSO

(upraveno dle Trenbertha 1997b)

Z výše uvedeného je patrné, že se jedná výhradně o kvalitativní popis pozorovaných jevů, což bylo pro účely další vědecké práce nedostatečné. Navíc první 2 způsoby vycházejí jen z původní domněnky peruánských rybářů (viz výše). Zde jsou možné kvantitativní definice:

1. Kladná anomálie teploty povrchu moře (SST) překračující hodnotu směrodatné odchylky po nejméně 4 po sobě jdoucích měsících na alespoň 3 z 5 peruánských pobřežních stanic. Tato definice je však značně nedostatečná, neboť se omezuje jen na projevy ENSO při peruánském pobřeží, a není proto používána. Vymezila SCOR WG 55 (Scientific Committee for Ocean Research Working Group), 1983 (podle Trenbertha 1997b).

2. Odchylky průměrné měsíční teploty povrchu moře (SST) ve zvolené zájmové oblasti. Její vymezení a příslušná hodnota odchylky průměrné měsíční teploty povrchu moře (SST) shrnuje Tabulka 1. Trenberth (1997b) uvádí metodiku Japonské meteorologické agentury (JMA): posuzujeme průměrné měsíční teploty povrchu moře (SST) v síti $2^\circ \times 2^\circ$. Pokud anomálie klouzavých pětíměsíčních průměrů

přesáhne příslušnou prahovou hodnotu po alespoň 6 po sobě jdoucích měsících, jedná se o El Niño. Wolter a Timlin 2011 tvrdí, že „tento způsob definice ENSO je v posledním desetiletí nejpoblárnější“.

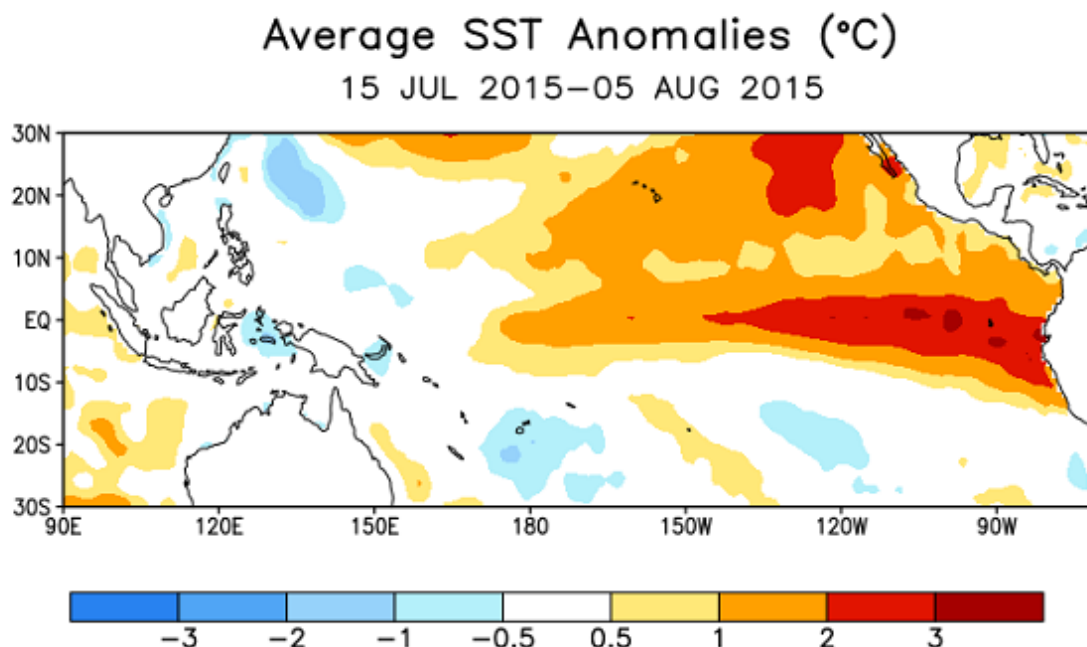
Tabulka 1 – Zájmové oblasti pro určení odchylek průměrné měsíční teploty povrchu moře (SST)

Název oblasti	Jižní hranice	Severní hranice	Západní hranice	Východní hranice	Prahová hodnota
Niño 3 region	5° j.z.š.	5° s.z.š.	150° z.z.d.	90° z.z.d.	0,5°C
Niño 3.4 region	5° j.z.š.	5° s.z.š.	170° z.z.d.	120° z.z.d.	0,4°C
Niño 3.5 region	10° j.z.š.	5° s.z.š.	180° z.z.d.	120° z.z.d.	0,3°C

(upraveno podle Trenberth 1997b)

Obrázek 3 zachycuje průměrné odchylky teploty povrchu moře (SST) v Tichém oceánu v létě 2015. Právě podle zde uvedené definice je zřejmé, že se jedná o podmínky odpovídající El Niño.

Obrázek č. 3 – Průměrné odchylky teploty povrchu moře (SST) ve stupních Celsia v období 15.7. až 15.8.2015



Zdroj: NOAA (2015)

3. Jednu z dalších možností představuje „Cold Tongue Index“ (CTI), který posuzuje odchylky teploty povrchu moře podél rovníku od datové hranice po jihoamerické pobřeží (Wolter a Timlin 2011). Princip výpočtu je obdobný jako u posuzování odchylek průměrné měsíční teploty povrchu moře v oblastech Niño 3 apod. „Cold Tongue“ je dle Fiedlera (2006) označení pro rovníkovou oblast západně od 120° z. d. s relativně nízkou teplotou povrchu moře, jež je dána chladným Peruánským (Humboldtovým) proudem a výstupy chladných vod z hlubších vrstev oceánu, ke kterým přispívá Walkerova cirkulace.

4. Index jižní oscilace (Southern Oscillation Index = SOI) je patrně nejtradičnějším způsobem, jak definovat nejen El Niño, ale i ENSO (např. starší česká nesespecializovaná literatura ani jiný způsob nezmiňuje, viz Kalvová a Moldan 1996). Obecně se jedná o odchylku od normalizovaného rozdílu hodnot tlaku vzduchu redukovaného na hladinu moře mezi východním a západním Pacifikem, přičemž jsou používána data ze stanic na Tahiti (pro východní Pacifik) a v Darwinu (pro západní Pacifik). Jak ovšem dodává eMS 2016, existuje více variant výpočtu tohoto indexu. V kontrastu s obvyklostí užívání tohoto způsobu stojí v novějších pracích autorů poměrně častá kritika značné nepřesnosti tohoto indexu – Trenberth (1997b) zmiňuje problematickou spolehlivost dat zejména ze stanice na Tahiti, především do roku 1935. Wolter a Timlin (2011) pak upozorňují na nedostatečně relevantní vypovídající hodnotu tohoto indexu ve vztahu k ENSO, neboť se obě stanice nacházejí na jižní polokouli a nezachycují tak situaci v celé oblasti zasahované ENSO (včetně nedostatečného pokrytí samotné jádrové oblasti působení ENSO).

5. Smith a Sardeshmukh (2000) zkonstruovali index BEST („Bivariate ENSO Timeseries“), který je prostou kombinací indexu jižní oscilace a definice na základě odchylek teploty povrchu moře v regionu Niño 3.4 (Wolter a Timlin 2011). Jako první ze zmiňovaných indexů BEST zahrnuje více než 1 meteorologický prvek.

6. Právě nutnost definovat ENSO na základě více proměnných (meteorologických prvků) vedla Woltera a Timlina v 90. letech k zavedení indexu MEI („Multivariate ENSO Index“). Ten je vypočítáván z hodnot 6 proměnných, jimž jsou: atmosférický tlak redukovaný na hladinu moře, meridionální vítr, zonální vítr,

teplota povrchu moře, teplota vzduchu při hladině oceánu a pokrytí oblačností. Ve své další práci (Wolter a Timlin 2011) však konstatují nadbytečnost některých proměnných a zavádějí index „MEI.ext“, který je počítán pouze z hodnot teploty povrchu moře a tlaku vzduchu redukovaného na hladinu moře, tedy veličin vystupujících nejčastěji i ve výše zmiňovaných indexech. Autoři přesto zdůrazňují vhodnost indexu MEI.ext, a to zejména vzhledem k jeho prostorové variabilitě (lze ho vypočítávat pro variabilně volitelné území), což označují za jeho největší výhodu oproti tradičnímu SOI, jenž je vázaný na 2 pevně umístěné stanice (dle autorů navíc ne zcela vhodně, viz výše). MEI.ext navíc považují za odolnější vůči ročnímu chodu a náhodným oscilacím zahrnutých veličin vzhledem k sofistikovanějšímu výpočtu (zahrnujícího např. hodnoty šikmosti směrodatných odchylek apod.), do kterého vstupují dvouměsíční klouzavé průměry teploty povrchu moře a tlaku vzduchu redukovaného na hladinu moře. Již vypočtené hodnoty indexu (včetně detailního popisu jeho výpočtu) jsou pro veřejnost volně dostupné.

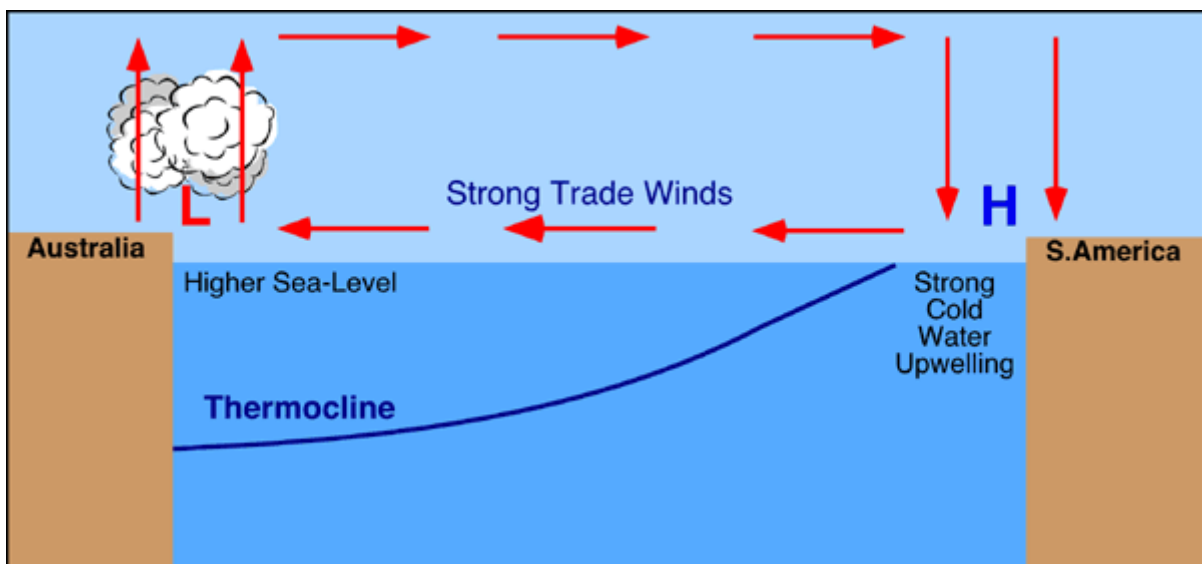
2.1.3 Projevy ENSO v tropickém Pacifiku

Na prvním místě je vhodné upozornit, že kladné či záporné fáze ENSO, tedy El Niño nebo La Niña, nejsou z pohledu klimatologie extrémní jevy. Trenberth (1997b) ve své práci spočítal, že v rámci časového úseku od ledna 1950 do března 1997 odpovídalo 31 % měsíců podmínkám El Niño a 23 % podmínkám La Niña (při užití definice podle odchylek teploty povrchu moře v regionu Niño 3.4). Shrnuje tedy, že na „extrémní“ fáze (nikoliv neutrální podmínky z hlediska ENSO) připadá 55 % měsíců (nerovnost se součtem jednotlivých fází je v jeho práci zřejmě daná zaokrouhlením na celá procenta), a je tedy možné tvrdit, že by bylo naopak extrémní, kdyby v rámci obvyklé periody ENSO tyto „extrémní“ fáze nenastaly.

Způsob, jakým ENSO ovlivňuje klima, stručně nastiňují např. Grimm a Tedeschi (2009): Základní příčinou změn stavu atmosféry vyvolaných ENSO jsou anomální toky tepla a vlhkosti nad tropickým Tichým oceánem (oblastí odchylek teploty povrchu moře (SST) vyvolaných ENSO). Tím vznikají zóny konvekce a naopak divergence v oblastech, kde to při neutrálních podmínkách ENSO (nenarušené Walkerově

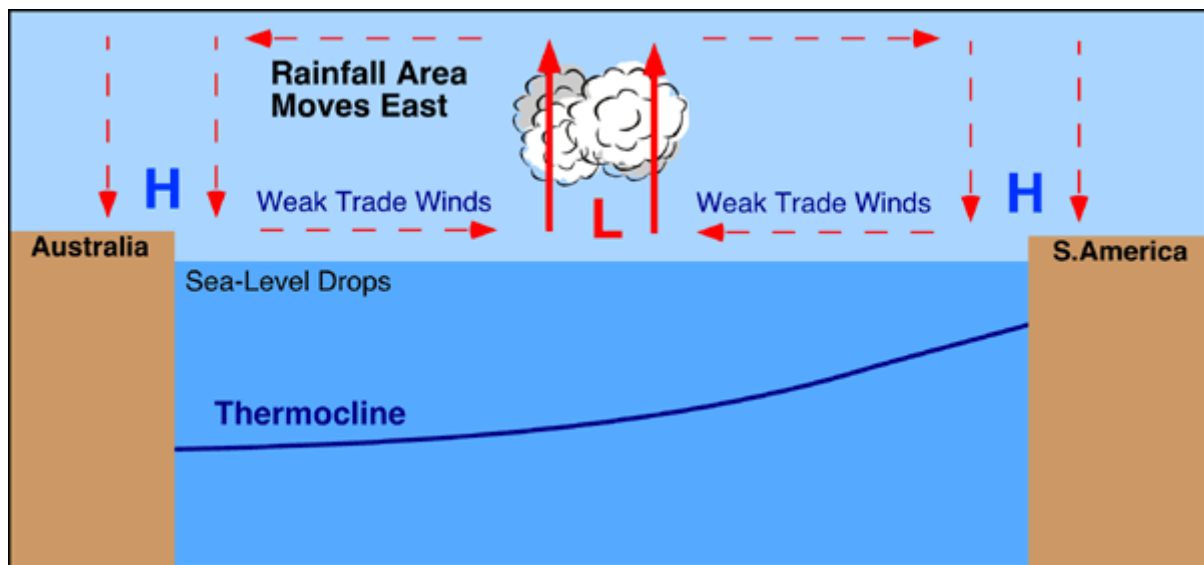
cirkulaci) není obvyklé. Příímým důsledkem těchto zón jsou anomálie v geografickém rozložení tlakových útvarů (tlakových níží a výší). Ty tak nenarušují jen Walkerovu cirkulaci, jež je prostorově vázána na oblast Tichého oceánu, ale i cirkulaci v rámci Hadleyho buňky v tropickém pásu. Je tak narušena rovněž zóna divergence ve svrchní troposféře na rozhraní Hadleyho a Ferrellovy buňky, čímž se dopady ENSO atmosférou šíří až do mírných šířek. Steinhoff et al. (2015) projevy ENSO shrnují do zjednodušeného tvrzení, že El Niño tropickou pacifickou troposféru stabilizuje, a tím brání konvekci, zatímco La Niña ji naopak destabilizuje, čímž konvekci umocňuje. Zesílení či zeslabení konvekce pak vede k záporným, resp. kladným srážkovým anomáliím. Schematické znázornění stavu Tichého oceánu a atmosféry nad ním při neutrálních podmínkách ENSO podává obr. č. 4 a při El Niño obr. č. 5.

Obrázek č. 4 – Situace v Tichém oceánu při neutrálních podmínkách ENSO



Zdroj: SA Geography (2012)

Obrázek č. 5 – Situace v Tichém oceánu při El Niño



Zdroj: SA Geography (2012)

Andreolli a Kayano (2005) lokalizují zónu záporných odchylek tlaku vzduchu (SLP) a na ni vázanou anomální konvekci při El Niño do středního a východního rovníkového Pacifiku. Na západním okraji Tichého oceánu (až v oblasti Indonésie) se pak vyskytují naopak kladné odchylky tlaku vzduchu (SLP) a na ně vázaná anomální subsidence. Walkerova cirkulace se tak posune východním směrem, východní proudění nad tropickým Pacifikem je zeslabeno. Důsledkem jsou anticyklóny nacházející se v nízkých zeměpisných šířkách, kde je při neutrálních podmínkách ENSO jejich výskyt nezvyklý (Andreolli, Kayano 2005). La Niña podle autorek vykazuje symetricky opačné anomálie.

Vliv ENSO je patrný nejen v atmosféře, ale i v oceánu. Nejzasaženější oblastí je východní tropický Pacifik, tedy oblast, jejíž teplota povrchu moře (SST) je používána i v mnoha definicích ENSO (viz výše). Fiedler a Talley (2006) uvádějí, že nejvýznamnější dopady ENSO lze pozorovat v oblasti tzv. rovníkového studeného jazyka („equatorial cold tongue“), vymezeného výše Fiedlerem (2006). Lze ho považovat za jakési pokračování studeného Peruánského proudu, který se právě v oblasti jižně od rovníku stáčí od jihoamerického pobřeží směrem na západ. Při teplé fázi ENSO (El Niño) přesahuje kladná anomálie teploty povrchu moře v této oblasti 2 °C (Fiedler a Talley 2006). V důsledku oteplení vrstvy vzduchu při

(nezvykle teplé) hladině moře se zde zároveň vyvíjejí záporné odchylky SLP (tlaku vzduchu redukovaného na hladinu moře), jak uvádějí např. Wang a Fiedler (2006). To zde vede k nastartování konvekce (která při jinak vyšších hodnotách tlaku vzduchu nemůže probíhat).

V západním Pacifiku se za stejné situace vyvíjejí záporné anomálie teploty povrchu moře (SST) v obrátníkových oblastech obou polokoulí a zároveň s tím kladné odchylky SLP (tlaku vzduchu redukovaného na hladinu moře), tedy 2 anticyklonální jádra vázaná výhradně na podmínky ENSO. Důsledkem tohoto anomálního tlakového pole je anomální západní proudění podél rovníku v centrální části Tichého oceánu a naopak anomální východní proudění v západní okrajové zóně Pacifiku. Odlišné prostorové rozložení tlakových poměrů mění při vrcholných fázích ENSO zóny konvekce a subsidence, a tím pádem i zásadním způsobem mění plošné rozložení srážek (Trenberth 1997a). Západní proudění nad centrálním rovníkovým Pacifikem bylo vyvinuto během všech detekovaných událostí El Niño od roku 1950 (a následně mělo vliv na kladné anomálie teploty povrchu moře v regionu Niño 3 po dobu cca 4 měsíců), což z něj činí zásadní prvek pro včasnou detekci vývoje El Niño jako počínající teplé fáze ENSO, neboť teploty povrchu moře ve východním Pacifiku (zejména při pobřeží Jižní Ameriky) se při některých událostech El Niño podle dostupných dat zvýšily až v době, kdy již anomálie tlaku vzduchu odpovídaly podmínkám El Niño (Wang a Fiedler 2006) a včasnou detekci El Niño neumožnily. Autoři dále uvádějí, že nejvyšší hodnoty odchylek jsou zaznamenávány v zimě severní polokoule (prosinec – únor), čímž se shodují s tvrzením Suna et al. (2015) - viz dále.

Naopak v tzv. teplém sektoru východního Pacifiku (Eastern Pacific Warm Pool), který je vymezen izotermou průměrné teploty povrchu moře 27,5 °C a nachází se západně od pobřeží jihozápadního Mexika a Guatemaly, není vliv ENSO na teplotu povrchu moře dostatečně prokazatelný (Fiedler a Talley 2006).

ENSO ovlivňuje i slanost mořské vody. Fiedler a Talley (2006) např. uvádějí, že největší změny salinity v souvislosti s ENSO lze pozorovat v rovnoběžkovém pásu zhruba kolem 5 ° s. š. východně od datové hranice. Kladné anomálie odpovídající cca 0,2 ‰ jsou dosahovány při středoamerickém pobřeží, a to přesto, že nad oceánem v této oblasti ENSO způsobuje vyšší srážkové úhrny. Zvýšení salinity je zde

způsobeno nižšími srážkovými úhrny nad pevninou a následným snížením přítoku sladkých vod do oceánu.

Fiedler a Talley (2006) rovněž zmiňují, že termoklina (vrstva vody, ve které dochází k rychlé změně teploty s hloubkou) ve východním Pacifiku se při teplé fázi ENSO (El Niño) nachází o 5 – 10 m hlouběji, zejména pak v rovníkové oblasti. Doplnují, že v západní části Tichého oceánu se termoklina při El Niño v porovnání s neutrálními podmínkami nachází naopak blíže hladině, a to nejen v rovníkových a tropických, ale až subtropických šířkách. Považujeme-li tedy ENSO za tropický fenomén (což odpovídá definicím uvedeným v této práci), lze mělčí termoklinu v subtropickém západním Pacifiku považovat za vzdálený projev ENSO na úrovni oceánu.

Vliv ENSO na kvalitativní parametry mořské vody (obsah živin, kyslíku či jiných vybraných látek) „není možné prokázat z důvodu nedostatečných dat o těchto parametrech“ (Fiedler a Talley 2006).

Při „neutrálních podmínkách“ ENSO, tedy mimo podmínky odpovídající definici El Niño/La Niña, se teplota povrchu moře (SST) v rámci Tichého oceánu od východu k západu zvyšuje (Trenberth 1997a). U amerického pobřeží je to způsobeno Peruánským proudem a výstupem chladnějších vod z hlubin k povrchu, jež je posilován východním prouděním při hladině Pacifiku v rámci obvyklé Walkerovy cirkulace (Fiedler a Talley 2006). Tyto vody jsou východními rovníkovými větry hnány do západního Pacifiku (obecně nejteplejší části světového oceánu) a zapříčiňují rovněž nárůst výšky hladiny oproti východnímu Pacifiku - např. Trenberth (1997a) uvádí rozdíl 60 cm, Kalvová a Moldan (1996) 40 cm.

Jak je možné se dočíst v mnoha pracích týkajících se ENSO, má tato oscilace zásadní vliv na pacifické ekosystémy. Fiedler (2002) však konstatuje, že důsledky teplé (resp. chladné) fáze ENSO nejsou nevratné a ekosystémy jsou schopné se po obnovení „neutrálních“ podmínek ENSO vrátit do původního stavu. Zvýšení teploty povrchu moře (SST) ve východním Pacifiku při El Niño, jež je důsledkem rozšíření teplých vod západního Pacifiku na východ díky zeslabení východního proudění (např. Wang a Picaut 2004), způsobuje snížení množství živin, fytoplanktonu a zooplanktonu, které jsou vázány na chladnější

vody. To podle Fiedlera (2002) vede k úhynu a změně reprodukčního chování zejména ryb, které nemají dostatek potravy. Snížení množství planktonu a ryb je natolik silným zásahem do potravního řetězce, že nepřímo (přes nedostatek potravy) má ENSO zásadní vliv i na další skupiny živočichů – např. vodní ptáky nebo galapážské tučňáky, a to nejen co se týče úmrtnosti či ztráty hmotnosti, ale i omezením reprodukční schopnosti. Fiedler (2002) však rovněž dodává, že některé vyšší organismy jsou schopné reagovat na pro ně nežádoucí důsledky aktuální fáze ENSO migrací a dočasným osídlením jiných stanovišť (např. některé velryby) a u galapážských leguánů mořských (*Amblyrhynchus cristatus*) už bylo dokonce pozorováno přizpůsobení se ENSO, a to schopností měnit velikost těla a tím i jeho energetické nároky v závislosti na fázi ENSO. To lze považovat za další důkaz výše uvedeného tvrzení, že výskyt „krajních“ fází ENSO je zcela přirozený a navíc zřejmě již skutečně dlouho nastávající jev, když se mu stačil přizpůsobit celý živočišný druh.

2.2. Dálkové projevy ENSO

2.2.1 Význam výzkumu dálkových vazeb ENSO

Význam výzkumu dálkových vazeb ENSO na přírodní ekosystémy i lidskou společnost především s ohledem na anomálie srážkových úhrnů související s ENSO, které mohou způsobovat povodně či sesuvy na straně jedné a sucha na straně druhé, zdůrazňují např. Mishra a Singh (2010). Zmiňují i příklady, kdy se stala predikce ENSO součástí strategie plánování jednotlivých hospodářství, v Peru dokonce na úrovni státu (zejména s ohledem na zemědělskou produkci). Fakt, že „ENSO je do určité míry předpověditelné se zhruba ročním předstihem“ zmiňuje už Trenberth (1997a). Pozo-Vázquez et al. (2005) vnímají výzkum dálkových dopadů ENSO jako zásadní pro sezónní předpověď anomálních hodnot meteorologických prvků, která by umožnila minimalizaci jejich společensko-ekonomických dopadů. Obrázek č. 6 nastiňuje dopady El Niño v různých částech světa, jak budou rozebírány v kapitolách věnovaných jednotlivým oblastem světa zasaženým ENSO.

Obrázek č. 6 – Typické geograficky vzdálené projevy El Niño



Zdroj: SA Geography (2012)

Nicholls (2000) identifikoval následující typické charakteristiky odchylek klimatu způsobených ENSO:

- 1) Ve všech zasažených regionech se vyskytují přibližně současně.
- 2) Fáze ENSO zvyšují roční proměnlivost klimatu, zejména srážek. Běžně se meziroční změny srážkových úhrnů snižují s vyššími průměrnými srážkami. V regionech zasažených ENSO může být však variabilita srážek v porovnání s oblastmi ležícími ve stejném klimatickém pásmu, avšak nezasaženými ENSO, až dvakrát vyšší.
- 3) Sucho/deště způsobené ENSO trvají typicky 1 rok.
- 4) Většina těchto období začíná (a následně končí) v dubnu. Proto jsou předpovědi pro období boreálního jara v oblastech zasažených ENSO mnohem obtížnější, než pro zbytek roku, je totiž pravděpodobné, že pokud anomálie způsobená ENSO trvá do června, přetrvá po celý zbytek roku.
- 5) Změna mezi El Niño a La Niña může proběhnout velmi rychle tak, že hned následující rok panuje opačná fáze. Meziroční variabilita tak může být v oblastech zasažených ENSO obrovská.

Sun et al. (2015) se pak zaměřili na statistickou analýzu dopadů ENSO na srážkové úhrny v jednotlivých regionech světa v různých ročních obdobích (jejich závěry pro jednotlivé regiony jsou zahrnuty v příslušných kapitolách této práce) pomocí nejčerstvějších dostupných dat. Statisticky má dle nich ENSO největší vliv na klima Země v období zimy severní polokoule, tedy od prosince do února. Globálně z jejich práce vyplývá důležitý závěr, se kterým autoři dřívějších prací obecně příliš nepočítali (Sun et al. 2015), a sice že dopady ENSO na srážkové úhrny v různých částech světa nelze označit za symetrické. Nelze tedy obecně tvrdit, že v regionu, kde El Niño srážkové úhrny zvyšuje, je La Niña naopak snižuje. Takové regiony jsou podle autorů dokonce pouze 2 – jižní část Severní Ameriky (zjednodušeně jih USA) a severní část jihovýchodní Asie a východní Čína. V ostatních regionech světa, v nichž má na srážkové úhrny vliv ENSO, je reakce na jeho fázi asymetrická, což znamená, že se srážkové úhrny v dané oblasti mění jen při jedné z fází ENSO (při druhé k anomáliím srážkových úhrnů nedochází), nebo je anomálie srážkových úhrnů při obou vyvinutých fázích ENSO stejná (tj. zvýšení či snížení srážkových úhrnů nastává jak při El Niño, tak při La Niña) – více viz jednotlivé kapitoly týkající se regionů. Nutno však dodat, že autoři používali k určení dopadů ENSO na srážkové úhrny jiný metodický postup, než bývá u většiny ostatních studií obvyklé – zaměřili se na extrémní srážkové události a jejich výskyt vzhledem k probíhající fázi ENSO, nikoliv na zhodnocení odchylek průměrů srážkových úhrnů.

2.2.2 Střední Amerika a pacifická Jižní Amerika

Západní pobřeží Jižní Ameriky můžeme považovat za oblast „přímého“ vlivu ENSO – už proto, že právě zde bylo poprvé pozorováno a pojmenováno El Niño. Dnes můžeme tvrdit, že El Niño znamená pro pacifické pobřeží tropické Ameriky (střední a Jižní) záporné srážkové anomálie, La Niña kladné (Steinhoff et al. 2015), přičemž specifikem střední Ameriky jsou inverzní odchylky (vzhledem k obvyklé reakci na probíhající fázi ENSO) na počátku tamního období dešťů (počátek léta severní polokoule).

Steinhoff et al. (2015) popisují dlouhodobé trendy patrné v oblasti východního Pacifiku a jeho pobřežních regionů: průměrná teplota povrchu moře (SST) ve východním tropickém Pacifiku roste, což zapříčiňuje obecně sušší klima střední Ameriky a severní Kolumbie a naopak vlhčí podmínky jižní Kolumbie, Ekvádoru a Peru. Přitom tvrdí, že současné modely podhodnocují velikost anomálií způsobovaných ENSO v budoucnu. Autor této práce si proto dovoluje tvrdit, že pro tuto oblast by bylo vhodné zpracovat analýzu výskytu extrémních (ať již negativních či pozitivních) srážkových epizod, jako to pro atlantský sektor Jižní Ameriky udělaly Grimm a Tedeschi (2009) - viz příslušná sekce této práce). Jinak se ale dle Steinhoffa et al. (2015) různé práce snaží se o odhady změn charakteristik ENSO v souvislosti s klimatickou změnou neshodují. Jejich jediným společným závěrem je pravděpodobné zeslabení rychlosti východního proudění nad tropickým Pacifikem, což bude znamenat průměrné oteplení povrchové vrstvy Tichého oceánu. Je však také možné, že geograficky vzdálené projevy ENSO budou skrz dálkové vazby působit na samotné ENSO tak, že změní jeho charakteristiky (Steinhoff et al. 2015).

ENSO však ovlivňuje rovněž polohu Intertropické zóny konvergence (ITCZ), a to prostřednictvím gradientu teploty povrchu moře (SST) v poledníkovém směru v tropickém sektoru Atlantského oceánu (Steinhoff et al. 2015). Při El Niño zeslabí převládající proudění nad severní částí tropického Atlantiku, což způsobí oteplení jeho povrchové vrstvy. Právě sem se pak posune ITCZ. Dochází k tomu v době nástupu období dešťů ve střední Americe. Totéž popisují rovněž Giannini et al. (2001) s tím, že oteplení Atlantského oceánu nastává s určitým zpožděním po vyvinutí „vrcholné“ teplé fáze ENSO v zimě severní polokoule, a k posunutí ITCZ tak dochází v březnu až květnu. Steinhoff et al. (2015) vyvozují, že v počínajícím období dešťů je pro srážkové anomálie hlavní vliv teploty povrchu moře (SST) v západním Atlantiku, zatímco později, v již probíhajícím období dešťů, vliv východního Pacifiku.

V létě severní polokoule dále Steinhoff et al. (2015) pozorují zesílení převládajících severovýchodních pasátů v Karibské oblasti „mezi severním pobřežím Jižní Ameriky a Velkými Antilami“ při událostech El Niño, což znamená snížení srážkových úhrnů v Karibské oblasti a naopak jejich zvýšení na východním

(karibském) pobřeží „pevninské“ střední Ameriky, kde k vyšším srážkám při SV proudění přispívá i orografický efekt. Vyšší srážkové úhrny to znamená také pro SZ Kolumbii, kde navíc zejména v oblasti kolem 5° s. z. š. kladné srážkové odchylky způsobuje při El Niño i západní proudění z Tichého oceánu, což z tohoto regionu dělá jednu z nejdeštivějších oblastí na světě (Steinhoff et al. 2015).

Výzkum vlivu ENSO na tuto oblast je významný mj. i proto, že vedle „přímých“ nebezpečných atmosférických jevů a jejich bezprostředních dopadů (např. sesuvů půdy v důsledku zvýšené srážkové činnosti) ENSO prokazatelně souvisí rovněž s výskytem životu nebezpečných onemocnění. Přímou souvislost mezi výskytem malárie a fázemi ENSO, přesněji řečeno se srážkovými epizodami vyvolanými ENSO, pro území Kolumbie a Venezuely prokázali Patz et al. (2005).

Giannini et al. (2001) uvádějí, že „teplá fáze ENSO znamená snížení srážkových úhrnů pro celou oblast tropického Atlantiku“. Přiřítají to celkovému oteplení troposféry při El Niño, což vede k její stabilizaci, a tedy zhoršeným podmínkám vzniku srážek. Anomálně nízké srážky v Karibské oblasti explicitně zmiňují pro léto a podzim severní polokoule prvního roku vývoje teplé fáze ENSO, jenž začíná zpravidla na jaře. V zimě suché podmínky přetrvávají na severu Jižní Ameriky, ovšem z JV Spojených států už se na Kubu do Mexika rozšiřují „vlhčí podmínky“ (Giannini et al. 2001). Následující rok znamená dle Giannini et al. (2001) pro Karibskou oblast zvýšení teploty povrchu moře (SST) severního tropického Atlantiku vyvolané teplou (zápornou) fází ENSO a následně zvýšení srážkových úhrnů. Naopak na severu Jižní Ameriky přetrvávají záporné anomálie. Upozorňují přitom, že vliv ENSO je šířen dvěma rozdílnými mechanismy – atmosférou a zprostředkovaně přes oteplení povrchu Atlantského oceánu, které má své další, výše popsané důsledky.

V neposlední řadě byl prokázán vliv ENSO na četnost výskytu tropických cyklón v západním Atlantiku, jak to popisuje např. Trenberth (1997b): teplá fáze ENSO (El Niño) znamená nižší četnost výskytu hurikánů. Je to dáno především stabilnějším zvrstvením troposféry, což je v souladu s poznatkem, který uvádějí Giannini et al. (2001), tedy že při El Niño neroste pouze teplota povrchu moře (SST) v západním

tropickém Atlantiku (Karibské oblasti), ale otepluje se i celá troposféra. Potvrzuje to rovněž Landsea (2000).

2.2.3 Austrálie

Na klima Austrálie má vliv už samotná Jižní oscilace (resp. Walkerova cirkulace). Zejména v případě tropické východní Austrálie tak ani není třeba mluvit o vzdáleném projevu ENSO, neboť zmíněné území můžeme zahrnout do sektoru západního Pacifiku, nad kterým se nachází západní pól Jižní oscilace (Cai et al. 2011). El Niño se v této oblasti typicky projevuje kladnými anomáliemi tlaku a místo obvykle probíhající konvekce podmiňující četné srážky zde převládá subsidenční proudění, což vede k výrazným záporným anomáliím srážkových úhrnů. Odchytky teploty povrchu moře (SST) jsou v západním Pacifiku záporné. Při La Niña nastávají opačné podmínky, tedy anomálně nízký tlak, vysoké teploty povrchu moře (SST), převládá konvekce a jsou zvýšené srážkové úhrny (Cai et al. 2011). Jižní oscilace se dle těchto autorů projevuje max. do zeměpisné šířky 25° obou polokoulí.

Vzdáleným projevem ENSO však už můžeme nazývat jeho vliv na jižní, tedy mimotropickou Austrálii, kde vedle ENSO spolupůsobí ještě tzv. dipól Indického oceánu (IOD). Ten je určující pro celkovou intenzitu vlivu ENSO a IOD na klima – jelikož IOD je slabý v zimě a silný na jaře, platí totéž i o síle celého vlivu ENSO a IOD (Cai et al. 2011). Risbey et al. (2009) dokonce tvrdí, že v období australské zimy (červen – srpen), kdy není patrný vliv IOD, se v jižní Austrálii vliv ENSO vůbec neprojeví. Totéž platí i pro východní Austrálii, kde je to ovšem obráceně – vliv IOD se projeví jen při současném působení ENSO. Přesto např. Murphy a Timbal (2008) označují nejen jaro, ale i zimu za období, kdy je vliv ENSO na srážkové poměry Austrálie největší, zatímco tamní léto a podzim jsou jím ovlivněny jen minimálně, přičemž na podzim (březen – květen) lze pozorovat vliv IOD. Dodávají navíc, že i přes neoddiskutovatelnou souvislost mezi srážkovými anomáliemi v JV Austrálii a odchylkami teploty povrchu moře ve východním Indickém oceánu nelze jednoznačně tvrdit, že tyto odchylky jsou příčinou snížení srážkových úhrnů v JV Austrálii.

Argumentují tím, že se vyskytují současně – teplota povrchu moře ve východním Indickém oceánu roste počátkem australské zimy, kdy už se často vyskytují snížené srážkové úhrny v JV Austrálii.

Navázání Indického oceánu na ENSO lze navíc označit za poměrně silné, neboť zároveň se zvýšením teploty povrchu moře v Pacifiku způsobené ENSO roste i teplota povrchu moře v Indickém oceánu, a fáze (a její intenzita) ENSO má tedy vliv i na intenzitu IOD. I proto Cai et al. (2011) za nejdůležitější region ovlivňující klima jižní (mimotropické) Austrálie označují východní Indický oceán, a to nejen v souvislosti s působením IOD, ale i ENSO.

Působením ENSO a IOD je v jižní Austrálii oslabeno převládající západní proudění a vyvíjí se anomální východní proudění. To brání pohybu tlakových útvarů přinášejících srážky ze západu na východ, jak je obvyklé při „neutrálních“ podmínkách (Cai et al. 2011). Na rozložení srážkových anomálií je rovněž patrný značný orografický efekt – obvykle návětrné západní svahy Australských Alp se při anomálním východním proudění stávají závětrnými, a odchylky oproti srážkovým úhrnům při převládajícím západním proudění, při němž jsou srážkové úhrny naopak orograficky posíleny, jsou tak velmi výrazné. Obvykle závětrné východní svahy se stávají návětrím, což zde v porovnání se západními svahy způsobuje zřetelně menší záporné (nicméně stále záporné) srážkové odchylky, neboť anomální východní proudění přináší vlhkost z Tasmanova moře (Cai et al. 2011).

V souvislosti se srážkovými anomáliemi se vyskytují i odchylky teploty. Murphy a Timbal (2008) shrnují, že změny teploty jsou vyvolány zvýšeným množstvím slunečního svitu při subsidenci (absence obvykle většího pokrytí oblačností), ale také nižší půdní vlhkostí, a tedy nižší evaporací, která by mohla vzduch ochlazovat. Upozorňují však na to, že zatímco vliv ENSO na srážky lze omezit na období australské zimy a jara, teplotní anomálie korelují s ENSO i v australském létě (prosinec – únor).

V době nejsilnějších anomálií během australského jara (září – listopad) se centrum anomálně vysokého tlaku posunuje v porovnání s australskou zimou z oblasti JV Austrálie ještě západněji. V tomto období je patrný velký vliv ENSO a IOD na snížení srážkových úhrnů i ze značného zvýšení výskytu požárů v JV Austrálii (Cai et al. 2011). Význam určení center anomální konvekce či subsidence způsobené ENSO

zdůrazňují Murphy a Timbal (2008) s odkazem na fakt, že rozsah srážkových i teplotních anomálií v Austrálii není dán velikostí absolutní hodnoty SOI, nýbrž právě polohou těchto anomálních tlakových center, resp. regionem s největšími odchylkami teploty povrchu moře (SST), ve kterém se vytvoří centrum anomální konvekce a nízkého tlaku a podmíní vznik dalších anomálních tlakových center. Dokumentují to relativně slabým dopadem teplé fáze ENSO 1997 – 1998 přezdívané jako „El Niño století“ a naopak nejkatastrofálnějším detekovaným suchem v australské historii způsobeným rekordně nízkými srážkami a velmi vysokými teplotami v roce 2002, kdy bylo podle SOI vyvinuto jen poměrně slabé El Niño. Obecně tvrdí, že čím západněji (zpravidla kolem datové hranice) se centrum anomálně vysokých SST nachází, tím vyšší je vliv na australské klima.

Sun et al. (2015) Austrálii pro přesnější popis působení ENSO dělí na 3 regiony: jihozápadní, jižní a východní. Jižní a východní Austrálii zasahují při působení El Niño záporné odchylky srážek v období od června do listopadu, což je v souladu s časovým vymezením působení ENSO, které uvádějí Murphy a Timbal (2008). La Niña zasahuje jižní Austrálii ve všech ročních dobách kromě australského léta a znamená zvýšení srážkových úhrnů (Sun et al. 2015). To je rozdíl proti východní Austrálii, kde tiž autoři pozorují stejný efekt při La Niña, tedy kladné srážkové anomálie, v období australského jara a léta (září až únor). Zatímco El Niño se podle nich v JZ Austrálii srážkovými anomáliemi neprojevuje, jejich zvýšení při La Niña zasahuje i tento region, a to v tamním létě a na podzim, tedy od prosince do května.

Autoři rovněž detekují zvyšující se frekvenci výrazných záporných srážkových anomálií v JV Austrálii, kterou přičítají dlouhodobým změnám IOD. Murphy a Timbal (2008) však upozorňují na fakt, že v období 1997 – 2006, kdy JV Austrálie zažila jedno z nejsušších období za dobu měření (obdobně suché období bylo dříve ve 20. století zaznamenáno jen jednou), připadlo 61 % úbytku srážek na období australského podzimu (březen – květen), kdy ENSO ani IOD nemají na klima JV Austrálie přímý vliv. Nelze je tedy považovat za jediné určující jevy ovlivňující klimatickou variabilitu dotčeného regionu.

Landsea (2000) pak zmiňuje souvislost mezi ENSO a výskytem tropických cyklón. Při El Niño se tropické cyklóny v Austrálii vyskytují řidčeji než při neutrálních podmínkách ENSO. Je to kompenzováno jejich

současným vyšším výskytem v Jižním Pacifiku východně od 165° v. z. d. La Niña podle autora přináší opačné projevy.

Byť je JV Austrálie prostorově jen omezenou a vzhledem k rozloze celé země její relativně nevelkou částí, vliv variability klimatu na tento region je zásadní pro celou Austrálii, neboť je zde soustředěna většina australské populace i hospodářství. Murphy a Timbal (2008) zmiňují, že Australané se variabilitě klimatu (zejména střídání suchých a vlhkých let) přizpůsobili, problémy však působí situace, kdy suché období trvá více po sobě jdoucích let.

2.2.4 Indonésie

Dopady ENSO na klima Indonésie můžeme označit za podobné těm na Austrálii, neboť Indonésii stejně jako Austrálii omývá západní Pacifik, jeden z regionů přímo dotčených ENSO. Indonésie má sice dostatek srážek během celého roku, přesto je možné detekovat vlhčí období s vrcholem v lednu a sušší období s vrcholem v srpnu (Hendon 2003). Právě v tomto sušším období vrcholícím v pozdní zimě jižní polokoule (stejně období, ve kterém má ENSO velký vliv i v Austrálii) je vliv ENSO na indonéské klima patrný. Rovněž zde hrají roli odchylky teploty povrchu moře (SST) v Indickém oceánu s ENSO úzce související (viz výše) a působící nejvíce právě v období relativního indonéského sucha. Hendon (2003) uvádí, že s nástupem relativně vlhčího období vykazuje celý Indický oceán stejnou odchylku teploty povrchu moře (SST) – kladnou při teplé fázi ENSO, zápornou při chladné fázi ENSO.

Při El Niño je teplota povrchu moře (SST) západního Pacifiku anomálně chladná, neprobíhá konvekce, narušená Walkerova cirkulace vede k anomálnímu východnímu proudění, tlak vzduchu (SLP) anomálně roste (Andreoli a Kayano 2005), výsledkem čehož jsou snížené srážkové úhrny i vůči průměrům platným pro sušší roční doby. La Niña dle Hendona (2003) působí obráceně, tedy zmírňuje období relativního sucha kladnými srážkovými anomáliemi. Je navíc prokázáno, že teploty moří omývajících indonéské břehy vykazují obdobné anomálie jako tropický Pacifik v souladu s fází ENSO, což jeho dopad na region ještě umocňuje (Hendon 2003).

Sun et al. (2015) pro JV Asii popisují snížení srážkových úhrnů při El Niño v období od září do února – s Hendonem (2003) se tedy shodují v popisu důsledků El Niño, nikoliv však s dobou jeho zřejmého vlivu. Potvrzují také, že La Niña znamená pro JV Asii naopak nadlepšení srážkových poměrů, a to po všechna roční období s výjimkou června až srpna, kdy podle nich srážkové úhrny v oblasti snižuje.

Přestože znatelný vliv ENSO je v Indonésii omezen jen na část roku, může mít katastrofální následky (Hendon 2003). Tamní zemědělské populace jsou totiž životně závislé na srážkách, a tedy dostatečně dlouhém a intenzivním vlhčím období. El Niño však může nástup vlhčího období buď zpomalit, nebo omezit jeho intenzitu, což už v minulosti vedlo ke katastrofálním požárům (např. v roce 1997b) a v souvislosti s tím také k rekordnímu znečištění ovzduší, jak uvádí Hendon (2003). V relativně nedalekém Thajsku (z pohledu působení ENSO) pak bylo El Niño označeno za jednu z příčin epidemií horečky dengue (Patz et al. 2005).

2.2.5 Indie

Zásadním dopadem ENSO na podnebí indického subkontinentu je jeho vliv na tamní monzun. Vzhledem k tomu, že monzun je daný rozdílem tlaků vzduchu nad oceánem a pevninou, je logické, že ENSO, které se projevuje mj. právě anomáliemi tlaku vzduchu na různých místech světa, výskyt monzunů ovlivňuje. Detailněji se vztahem ENSO a indického letního monzunu zabývala Slingo (1999). Rozdíl tlaků nad pevninou a nad oceánem je v letním období v oblasti indického subkontinentu natolik velký, že ani ENSO, které regionální rozložení tlaku vzduchu mění, není natolik silné, aby monzunu zabránilo. V červenci a srpnu, tedy „vrcholné“ fázi monzunového proudění, které z oceánu přináší nad pevninu vlhký vzduch a zásobuje ji srážkami, jež jsou pro indickou společnost, stále velmi závislou na primárním zemědělství, životně důležité, je monzun plně vyvinut i při působení ENSO (Slingo 1999). Jeho teplá fáze (El Niño) však má sílu ovlivnit délku trvání monzunu, a to především dobu jeho ústupu. Při vyvinutém

El Niño totiž již v září monzunové proudění z oceánu nad pevninu polevuje. Důsledkem je kritický nedostatek srážek a hrozící katastrofální sucho (Slingo 1999). Autorka dodává, že červnovou dobu nástupu přitom El Niño tak zásadně neovlivňuje.

V analýze souvislosti výskytu nemocí a fází ENSO, jejíž výsledky shrnuli Patz et al. (2005), je indický subkontinent jednou z oblastí, kde byl prokázán zvýšený výskyt malárie při El Niño. Autoři dále upozorňují na prokázanou korelaci mezi ENSO a výskytem cholery.

2.2.6 Východní Asie

Východní Asie je regionem, který často zasahují sucha, za jejichž vznik je (alespoň částečně) zodpovědné ENSO. S rostoucím porozuměním ENSO však zároveň roste přesnost předpovědi těchto such, a tedy i možnost se na ně připravit (Zhang a Zhou 2015). V budoucnu by dle autorů tato sucha měla zasahovat i JV Asii. V současnosti (resp. nedávné minulosti) však nejčastěji a nejdéle nastává sucho v severní a jihozápadní Číně. Zhang a Zhou (2015) popisují, že zde se sucha vyvíjejí v souvislosti se dvěma odlišnými mechanismy. První, Pacificko-japonský, je hnán odchylkami teploty povrchu moře (SST) v západní části severního Tichého oceánu a centrální rovníkové oblasti Indického oceánu, k nimž dochází v letní části roku, kdy je vyvinuto El Niño. Druhý, nazývaný podle Hedvábné stezky „Silk Way Pattern“, je důsledkem monzunu nad Indickým subkontinentem. Tento mechanismus způsobuje sucha v severní Číně, v jejíž centrální části k nim (na rozdíl od SZ Číny) navíc dle autorů dochází čím dál častěji. Tento trend však nepřičítají ENSO, nýbrž Pacifické dekadní oscilaci (PDO).

ENSO zůstává hlavním pramenem pro predikci sucha v Číně, neboť ostatní mechanismy (jsou-li nějaké) zůstávají prozatím neobjasněny. Spolu s tím však Zhang a Zhou (2015) připomínají, že i v oblasti vlivu ENSO na sucho ve východní Asii (zejména v kontinentální Číně, kde na rozdíl od regionů východní Asie nacházejících se blíže k moři nemá zásadní vliv monzun) je třeba dalšího výzkumu, neboť souvislost sucha a ENSO zde byla objasněna „pouze“ na úrovni platné statistické korelace mezi zvolenými indexy

sucha a ENSO, mechanismy ovlivňující atmosférickou cirkulaci, jež k suchu vede, prozatím objasněny nebyly.

Sun et al. (2015) pak označují severovýchodní Čínu za typický region s asymetrickou reakcí na fáze ENSO. Ta se projevuje v zimě a na jaře severní polokoule (od prosince do května) zcela stejně jak při El Niño, tak při La Niña, a to zvýšením srážkových úhrnů. V boreální zimě (prosinec – únor) detekují při El Niño kladné odchylky srážek rovněž v JV Číně.

2.2.7 Severní Pacifik

Vzdáleným projevem ENSO jsou rovněž změny teploty povrchu moře (SST) a v souvislosti s nimi změny tlaku vzduchu na hladině moře (SLP). Jednou z takto zasažených oblastí je severní oblast Tichého oceánu. Tento vliv popisuje Lau (1997). Při kladných teplotních anomáliích teploty povrchu moře v rovníkovém Tichém oceánu (El Niño) dochází k prohloubení Aleutské tlakové níže a souvisejícímu zesílení cyklonálního proudění kolem jejího centra.

To v praxi znamená zesílení severního proudění západně od jejího středu, západního proudění v pásu mezi 30° s. z. š. a 40° s. z. š. a jižního proudění východně od jejího středu. Tyto anomálie proudění přinášejí rovněž změnu teplotních a vlhkostních poměrů oproti „normálu“ – severní proudění znamená advekci relativně chladného a suchého vzduchu a jižní proudění naopak průnik relativně teplého a vlhkého vzduchu. Důsledkem je pak změna intenzity tepelné výměny mezi oceánem a atmosférou (Lau 1997). Východně od centra cyklóny je tato výměna zeslabená, neboť díky oteplení a zvlhčení přinášeného vzduchu nad hladinou je rozdíl a teplot mezi povrchovou vrstvou oceánu a atmosférou nad ní snížen. Tepelný tok z oceánu do atmosféry je tak omezen, proto se zde oceán otepluje. Naopak na západ od centra cyklóny je rozdíl mezi teplotou a mezi povrchem oceánu a atmosférou nad ním zvýšen, tepelné ztráty oceánu ve prospěch atmosféry jsou větší, a oceán se tak ochlazuje.

Konečný řetězec změn lze zkráceně popsat tak, že změny teploty povrchu moře v tropickém Pacifiku vedou ke změnám (tlakovým, teplotním a vlhkostním) v atmosféře nad severním Tichým oceánem,

kteřé jsou příčinou změn teplot povrchu moře v této části Pacifiku. Lau (1997) tím dokazuje, že změny teplot povrchu moře v jedné části oceánu vyvolané jejich změnami v jiné části oceánu nemusejí probíhat teplotními toky jen v rámci oceánu (mořskými proudy), ale i tzv. atmosférickými mosty, tedy přes atmosféru. Zásadním poznatkem je pak to, že změny tlakových poměrů ve středních šířkách mění dráhy tlakových systémů, a tedy i srážkových center (Lau 1997).

2.2.8 Severní Amerika

Klima Severní Ameriky ovlivňují odchylky teplot povrchu moře (SST) v severním Tichém oceánu vyvolané ENSO a v severním Atlantském oceánu popisované jako AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation). „AMO popisuje střídání kladných a záporných odchylek teploty povrchu moře (SST) napříč severním Atlantským oceánem, ke kterému dochází s periodou 60 – 80 let.“ (Hu a Feng 2012). Tyto anomálie korespondují se změnami atmosférické cirkulace ovlivňující klima v Evropě a Severní Americe zejména během léta severní polokoule (Hu a Feng 2012).

Záporné anomálie teploty povrchu moře (SST) v severní polovině Atlantiku vedou k navýšení srážkových úhrnů nad většinou území Spojených států s výjimkou JV USA a severní částí Velkých préríí (Hu a Feng 2012). Naopak kladné odchylky teploty povrchu moře (SST) v severním Atlantiku způsobují sušší období, hlavně v centrální a jižní oblasti amerického „středozápadu“ (např. v Texasu), která mohou znamenat až katastrofální sucha (Hu a Feng 2012). Tato vlhčí a sušší období přetrvávají s celou periodou AMO odpovídající několika desetiletím.

Vliv AMO na anomálie klimatu v Severní Americe je v této práci zmíněn proto, že doplňuje vliv ENSO na klimatické anomálie této oblasti, jak ve své práci popisují Hu a Feng (2012). Vliv ENSO je však podle nich silnější, neboť se neomezuje jen na 1 roční období, ale při vyvinuté fázi ENSO působí celoročně. Přesto zimu severní polokoule označují za období nejsilnějšího vlivu ENSO na klima Severní Ameriky. Pro celkový popis je však podle nich na místě vnímat působení ENSO a AMO současně jako společný

signál, neboť jedna složka (resp. její aktuální fáze) může zejména v rozsahu a intenzitě ovlivňovat druhou.

Působení ENSO na klima Severní Ameriky označují Hu a Feng (2012) za rozdílné v závislosti na zeměpisné šířce. V celém subtropickém pásmu je vliv ENSO patrně jednotný (bez ohledu na zeměpisnou délku). Zde proto prohlašují odchylky srážkových úhrnů za složený signál ENSO a AMO, jehož intenzita je zesilována či naopak zeslabována s tím, zda jsou ENSO a AMO ve stejné či opačné fázi. Upřesňují, že silnější je patrně vliv AMO a ENSO „pouze“ zvyšuje či snižuje jeho rozsah. Naopak v šířkách mírného pásu je dominantní vliv ENSO – srážkové anomálie se zde z hlediska času vyskytují současně s vyvinutými teplými/chladnými fázemi ENSO a AMO ovlivňuje jejich intenzitu (Hu a Feng 2012).

Srážková anomálie během El Niño a zároveň teplé fáze AMO je zvýrazněna, zatímco chladná fáze AMO efekt El Niño výrazně zmírňuje. Způsobeno je to změnami tlakového pole, které nastanou při El Niño a různých fázích AMO. El Niño způsobuje zvýšení tlaku vzduchu nad mírným pásmem Severní Ameriky. Stejně tak i záporné anomálie teploty povrchu moře (SST) v severním Atlantiku vedou ke kladným anomáliím tlaku vzduchu v mírných šířkách Severní Ameriky, čímž je zde vytvořena zóna divergence a srážkové konvekci je zabráněno (Hu a Feng 2012). Naopak kladné odchylky teploty povrchu moře (SST) v severním Atlantiku znamenají pro mírný pás Severní Ameriky relativní snížení tlaku vzduchu, což ve spojení s kladnou anomálií vyvolanou El Niño znamená vhodné podmínky pro nadměrné srážky (Hu a Feng 2012).

Turner (2004) cituje práci Ropelewského a Halperta (1987), kteří dali do souvislosti vliv ENSO a změny drah tlakových, a tedy i frontálních systémů. Důsledkem jsou zásadní odchylky ve srážkových úhrnech v oblastech zasažených, či naopak nezasažených srážkami ze systémů, jejichž dráhy byly kvůli ENSO odchýleny ze svých obvyklých trajektorií. Sun et al. (2015) pak při posouzení vlivu ENSO na konkrétní regiony popisují kladné anomálie srážkových úhrnů v SZ Severní Americe v období zimy severní polokoule při La Niña.

Hu a Feng (2012) dále uvádějí, že největší záporné srážkové anomálie v Severní Americe nastávají při současném působení La Niña a kladných odchylek teploty povrchu moře (SST) Severního Atlantiku (tedy teplou fází AMO). Anomálie tlakového pole při této situaci znamenají silné proudění z oblasti JZ Spojených států a Mexika směrem do středu severoamerického světadílu, kde toto suché proudění může vyvolat mnohé nebezpečné jevy spojené se suchem. Hu a Feng (2012) to dokládají suchem, častými prachovými bouřemi v Arizoně a lesními požáry v Texasu v letech 2010 a 2011, kdy popsané podmínky panovaly. Výše popsané zvýšení srážkových úhrnů na SZ Severní Ameriky a suché a teplé podmínky středu a jihu USA dokládá rovněž obrázek č. 7, který schematicky shrnuje vliv La Niña na Severní Ameriku.

Obrázek č. 7 – Působení La Niña na klima Severní Ameriky



Zdroj: UCAR (2010)

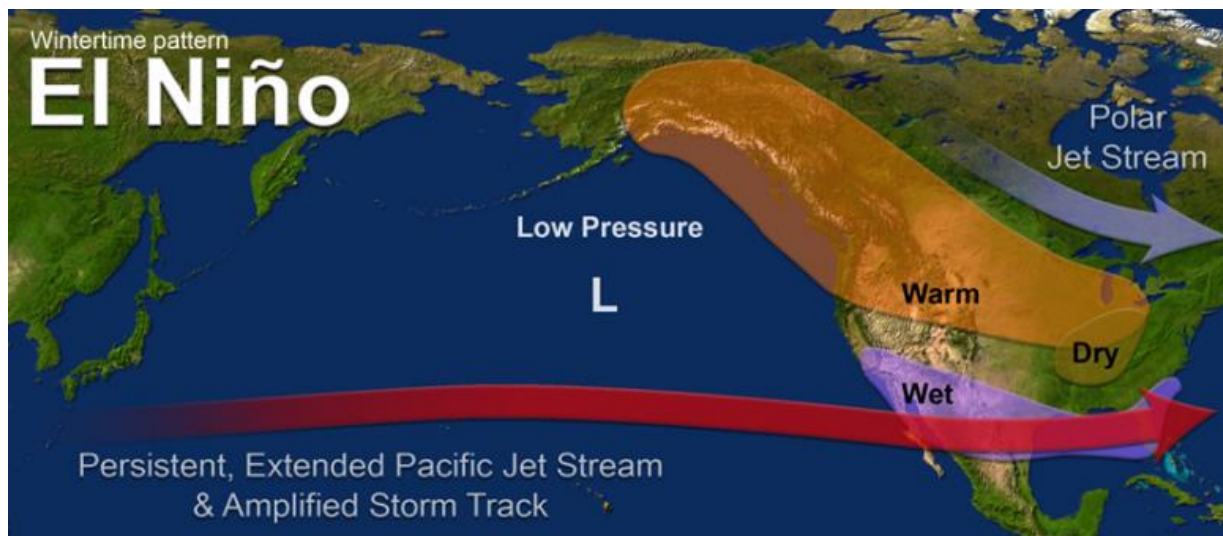
Srážkové anomálie popsané v tomto a předchozím odstavci odpovídají zejména létu, kdy je na ně vliv AMO největší (viz výše). V ostatních ročních obdobích je vliv AMO podle autorů mizivý a změny vyvolávané ENSO nezesiluje, což nicméně neznamená, že by se výše zmíněné odchylky neprojevovaly,

pouze k nim dochází ve slabší intenzitě (Hu a Feng 2012). Grimm a Tedeschi (2009) citují práce Gershunova a Barnetta (1998), Gershunova (1998) a Cayana (1999), kteří popisují, že k největším odchylkám srážkových úhrnů způsobených ENSO dochází ve dnech, které jsou podle dlouhodobých průměrů nejdeštivější. Toto zjištění má značný význam pro předpověď nebezpečných jevů (ať už souvisejících s extrémně vysokými, nebo naopak nízkými srážkami, tedy El Niño, nebo La Niña), neboť se na jeho základě zdá, že tyto jevy se vyskytují zpravidla právě v těchto konkrétních dnech.

Autoři připomínají, že odchylky teplot povrchu moře (SST) v tropickém Pacifiku a severní části Atlantiku spolu mohou souviset a nemusí tedy být vzájemně nezávislými proměnnými. Dodávají, že vliv na severoamerické klima mohou mít i anomálie teploty povrchu moře v severním Tichém oceánu (PDO = „Pacific Decadal Oscillation“).

Sun et al. (2015) ve své komplexní analýze vlivu ENSO na výskyt extrémních srážkových událostí v různých oblastech světa tvrdí, že v zimě severní polokoule při El Niño srážkové úhrny na JZ Severní Ameriky rostou a při La Niña naopak klesají, jedná se tedy (podle jejich zjištění o vzácnou) symetrickou reakci na fáze ENSO. Ta je však omezena skutečně jen na americký jih, neboť pro centrální Spojené státy naopak popisují typickou asymetrickou reakci – od září do února jsou zde zaznamenávány kladné odchylky srážek jak při El Niño, tak při La Niña. Totéž na podzim (září – listopad) platí i pro západ Severní Ameriky, El Niño zde srážkové úhrny navíc zvedá i na jaře (březen – květen). Naopak v zimě pro západ Severní Ameriky znamená El Niño anomálně sušší podmínky (Sun et al. 2015). Vyšší srážkové úhrny ve středních a jižních státech USA v zimě popisované autory ilustruje i obrázek č. 8, zjednodušeně znázorňující celkovou situaci v Severní Americe při El Niño v zimě.

Obrázek č. 8 – Schematické znázornění vlivu El Niño na klima Severní Ameriky v zimě



Zdroj: National Weather Service (2015)

Specifickým regionem z hlediska teplotních anomálií je jihovýchod Spojených států. Tam má kromě ENSO značný vliv také Arktická oscilace (AO), kterou Lim a Schubert (2011) prohlašují za určující faktor pro odchylky teplot v zimě a zároveň s její fází koreluje také počet abnormálně chladných dnů. Vliv ENSO se podle nich výrazněji uplatňuje při teplotních anomáliích v letním období, ani zde však nemůžeme vliv AO přehlížet. Jednotlivé vlivy kvantifikují tak, že „vliv AO je v zimě minimálně stejně silný jako vliv ENSO“ (Lim a Schubert 2011).

Základním vlivem ENSO na JV Spojených států v zimním období, kdy je vliv ENSO na klima celé Severní Ameriky nejsilnější (Hu a Feng 2012), je snížení teploty a zvýšení srážkových úhrnů, tedy záporné teplotní a kladné srážkové anomálie. Vyšší srážkové úhrny při El Niño v období červen – únor v tomto regionu popisují rovněž Sun et al. (2015). Naopak při La Niña jsou zimy na americkém jihovýchodě teplejší a sušší než při neutrálních podmínkách ENSO (Lim a Schubert 2011). V dostupných datech jsou však i anomálie, které s fází ENSO, resp. jejím předpokládaným popsaným dopadem, nesouhlasí. Takové případy se zvláště koncentrují v pozdějším období, za které máme dostupná data, přičemž anomálie, jež nesouhlasí s fází ENSO, se s vyšší frekvencí vyskytují zejména od 80. let 20. st. (Lim a Schubert 2011). Jedná se zejména o zimy při teplé fázi ENSO (El Niño), která by měla znamenat (a až do 80. let 20. st. zpravidla znamenala) nižší teploty vzduchu v zimě, než odpovídá průměru. K tomuto relativnímu

ochlazení při El Niño však už podle Lima a Schuberta (2011) nedochází. Autoři je přikládají právě zbývajícím dvěma oscilacím působícím na Severní Ameriku a na jihovýchodní region USA zvlášť.

Důsledky společného vlivu AO a ENSO Lim a Schubert (2011) popisují následovně: kladná fáze Arktické oscilace ve spolupůsobení s La Niña vedou k největším kladným odchylkám teploty. Naopak současné působení záporné fáze Arktické oscilace a El Niño znamená zeslabení kladných teplotních anomálií. Pokud současně působí La Niña se zápornou fází AO a El Niño s kladnou fází AO, vliv ENSO je natolik oslaben, že převáží vliv fáze AO.

2.2.9 Jižní Amerika

ENSO ovlivňuje klima rovněž v Jižní Americe, a to zdaleka ne jen při pobřeží Ekvádoru a Peru, kde bylo El Niño tamními rybáři poprvé pozorováno (viz úvod práce). V moderní době lze v této oblasti El Niño vnímat i zvýšeným výskytem průjmových onemocnění – Patz et al. (2005) uvádějí, že v Limě byl výskyt průjmu během El Niño 1997-98 více než dvojnásobný oproti normálu. Zasaženy jsou rovněž oblasti východně od And, kde už můžeme mluvit o dálkovém, nikoli „přímém“ vlivu ENSO. Těmito oblastmi je především SV Jižní Ameriky, zahrnující Venezuelu, Guyanu, Surinam, Francouzskou Guayanu a rovníkovou Brazílii, a JV jihoamerického světadílu, který můžeme pro zjednodušení nazvat oblastí Laplatské nížiny – jižní Brazílie, Uruguay a severní Argentina (Andreoli a Kayano 2005).

Autorky citují práce Ropelewského a Halperta (1987) a (1989), kteří vliv ENSO na srážkové anomálie ve výše uvedených oblastech popsali následovně: El Niño znamená nižší srážky oproti dlouhodobému průměru v severovýchodním regionu Jižní Ameriky od července do dubna, vyšší srážky v oblasti La Platy od listopadu do února a také vyšší srážky v subtropickém sektoru Chile, které je značně vzdáleno od tropického pobřeží Jižní Ameriky, a jedná se tedy o dálkový projev ENSO, a to od května do října. Naopak La Niña srážky v severovýchodní Jižní Americe od června do března zvyšuje, v La Platě od června do prosince snižuje a v subtropickém Chile od května do října snižuje. Sun et al. (2015) pak tvrdí, že na

JV Jižní Ameriky způsobuje El Niño vyšší srážkové úhrny od prosince do dubna a La Niña relativní srážkový deficit na jaře jižní polokoule, což je v souladu s výše uvedeným. Giannini et al. (2001) potvrzují záporné srážkové anomálie při El Niño na SV Jižní Ameriky, a to především v období březen – květen. Přiřítají je posunu ITCZ směrem na sever do tropického Atlantiku, který je zapříčiněn zeslabením SV pasátů v Karibské oblasti (viz sekce věnující se střední Americe). Vzhledem k tomu, že v dotčeném regionu panují při El Niño „sušší podmínky“ už od prosince do února, tedy před vrcholem anomálně suché periody, může zde El Niño vyvolat déle trvající sucho (Giannini et al. 2001).

Andreoli a Kayano (2005) testovaly souvislost mezi srážkovými úhrny v různých částech Jižní Ameriky a fází ENSO kombinovanou s fází dekádní pacifické oscilace (Pacific Decadal Oscillation = PDO). Ta je typická dlouhodobými změnami teploty povrchu moře (SST) a tlaku vzduchu v severním Pacifiku (jak název napovídá, jedna její fáze trvá řádově desetiletí), čímž ovlivňuje klima Severní Ameriky zejména v chladné části roku (eMS 2016). Teplá fáze PDO (vyšší teplota povrchu moře v severním Pacifiku) znamená prohloubení Aleutské tlakové níže a zvýšení teploty povrchu moře (SST) ve východním Tichém oceánu a naopak snížení SST v západním Tichém oceánu (Andreoli a Kayano 2005). I když tedy PDO zasahuje hlavně mimotropické šířky, její teplá fáze má v poledníkovém směru stejný účinek jako teplá fáze ENSO. Chladná fáze PDO znamená přesně opačné dopady a v poledníkovém směru se projevuje stejně jako La Niña. Princip ovlivnění klimatu dekádní pacifickou oscilací (PDO) a ENSO je obdobný – odchylky teploty povrchu moře (SST) způsobují odchylky v tlaku vzduchu (SLP), což vede k anomální konvekci/subsistenci a anomálnímu tlakovému poli (Andreoli a Kayano 2005).

Autorky však odhalily souvislost mezi fází PDO a projevy ENSO na srážkové anomálie nejen v Severní Americe a monzunové JV Asii, ale i v Jižní Americe. Při teplé fázi PDO jsou projevy ENSO na jihoamerické srážkové úhrny zřetelnější než při chladné fázi PDO. Příkladují to vzniku anomálních tlakových útvarů, jenž není zapříčiněn (jen) ENSO, ale (zejména) PDO. Při teplé fázi PDO se nad východní Brazílií vytvoří cyklóna, která způsobí záporné srážkové anomálie v SV Brazílii. Zároveň s tím vzniká v JV Jižní Americe (zhruba v oblasti La Platy) slabá anticyklóna, která tam zapříčiňuje zvýšení srážkových úhrnů. Pokud je

PDO ve své chladné fázi, oblast kladných srážkových odchylek se posunuje jižněji, což je způsobeno posunem subtropického tryskového proudění směrem na jih při chladné části PDO (Andreoli a Kayano 2005).

K největším odchylkám srážkových úhrnů způsobených ENSO ve spolupůsobení s PDO dochází v listopadu a v prosinci na jihu Jižní Ameriky (tam jsou srážkové anomálie kladné) a v lednu a v únoru na severu Jižní Ameriky (zde se jedná o srážkové anomálie záporné). Shodují se tedy s poznatkem Grimm a Tedeschi (2009), že k největším extrémům dochází v létě jižní polokoule (viz dále).

Na vliv ENSO na srážkové anomálie nemusí být nahlíženo jen z hlediska odchylek od průměrů srážkových úhrnů za určité období, ale také z pohledu četnosti výskytu extrémních srážkových epizod navázaných na ENSO. Grimm a Tedeschi (2009) konstatují, že právě tímto způsobem je ENSO zodpovědné za značnou část celkové variability klimatu (zejména srážkových úhrnů) v Jižní Americe. Zatímco některé regiony podle autorek vykazují symetrickou odpověď na opačné fáze ENSO, jsou i takové, kde reakce na El Niño a na La Niña opačná není (viz dále). Jak záporná (El Niño), tak kladná (La Niña) fáze ENSO celkový počet extrémních srážkových událostí zaznamenaných v celé Jižní Americe oproti neutrálním podmínkám ENSO zvyšují. Záleží však na konkrétním regionu a rovněž trvání určité fáze ENSO.

Stejně jako v Severní Americe (viz příslušná sekce této práce), i v Jižní Americe se nejvyšší počet extrémních srážkových událostí vyskytuje v dlouhodobě nejdeštivějším období, což ještě umocňuje případný nežádoucí dopad kladných srážkových anomálií (Grimm a Tedeschi 2009). Ty se vyskytují při kladné fázi ENSO (La Niña). V srpnu roku s podmínkami La Niña je nejprve vyšší počet extrémních srážkových událostí zaznamenan na SZ jihoamerického světadílu, s následujícími měsíci se jádro oblasti s vyšším výskytem extrémních srážek posunuje k jihovýchodu, nejjižněji se dostane zhruba v listopadu (do oblasti střední až východní Brazílie) a následně se vrací zpět k severu přibližně v lednu. Při El Niño autorky popisují zhruba stejné prostorové chování oblasti výskytu srážkových anomálií, které jsou ovšem záporné, tedy vysoké srážkové úhrny snižují.

Následně ovšem popisují změnu ve vývoji při El Niño a La Niña. Zatímco při El Niño se v březnu opakuje vývoj odpovídající předcházejícímu listopadu, tedy přetrvávají záporné srážkové anomálie, při La Niña není podle nich opakující se vzorec prostorového výskytu anomálií patrný. V SV Brazílii však lze pozorovat určité pravidelnosti. K největšímu počtu anomálií vyvolaných El Niño tam dochází v březnu, zvýšenému počtu extrémních srážkových událostí vyvolaných La Niña v dubnu (Grimm a Tedeschi 2009).

Dalším velkým regionem, kde fáze ENSO ovlivňují frekvenci výskytu extrémních srážkových událostí, je oblast, kterou Grimm a Tedeschi ohraničují 23° a 35° j. z. š. (opět se jedná zhruba o oblast La Platy). Období, kdy je tento vliv znatelný, vymezují říjnem až únorem s tím, že v lednu prokazatelná souvislost ENSO s výskytem srážkových extrémů slábne. To lze dát zřejmě do souvislosti s výše popsaným posunem „jádrového“ regionu vlivu ENSO na extrémní srážkové události do střední až východní Brazílie, tedy regionu relativně blízkého La Platě (Grimm a Tedeschi 2009). Při El Niño se pak v postiženém regionu s vyšší frekvencí než při neutrálních podmínkách ENSO vyskytují silné srážky v březnu a dubnu (podzimu jižní polokoule), což opakovaně vedlo k povodním v povodí Paraná a La Platy (Grimm a Tedeschi 2009).

Vedle souvislosti mezi fází ENSO (a její intenzitou, vyjádřeným např. absolutní hodnotou SOI) a frekvencí extrémních srážkových událostí lze v této oblasti pozorovat i přímou souvislost s intenzitou těchto epizod, což v jiných jihoamerických regionech, kde ENSO ovlivňuje frekvenci výskytu extrémních srážkových událostí, podle autorek možné není. Tento vliv platí univerzálně bez ohledu na roční dobu s obzvláště silnou korelací v listopadu. Grimm a Tedeschi 2009 navíc uvádějí, že Laplatská nížina je celoročně oblastí nejintenzivnějších konvektivních bouří na Zemi, což jen dokládá závažnost událostí zesílených vlivem ENSO.

Autorky shrnují, že pokud má v daném regionu ENSO kladný či záporný vliv na měsíční srážkové úhrny, má v něm kvalitativně shodný vliv i na počet extrémních srážkových událostí. Interpretují to ale především tím, že tyto extrémně silné srážky mají zásadní vliv na srážkové úhrny celého měsíce. Upozorňují

však, že obrácená implikace neplatí, tedy pokud ENSO v určitém regionu ovlivňuje frekvenci výskytu extrémních srážkových událostí, nemusí nutně ovlivňovat měsíční srážkové úhrny. Z toho vyplývá, že konzistentní vliv ENSO na četnost výskytu extrémních srážkových událostí musí postihovat minimálně stejně velkou (ve skutečnosti opravdu větší) celkovou plochu území jako celkovou rozlohu regionů, kde ovlivňuje pouze měsíční srážkové úhrny. V porovnání s citovanými pracemi Gershunova (1998) a Cayana (1999) si Grimm a Tedeschi (2009) všímají, že obdobné výsledky vykazovala i data ze stanic v USA. Tento poznatek má velký význam pro předpověď nebezpečných meteorologických a klimatických jevů, které je na místě podchytit právě extrémními hodnotami určitého meteorologického prvku, neboť pouze z dlouhodobých průměrů nemusí být jejich výskyt vždy patrný. A jelikož tyto jevy mají veliký socioekonomický dopad, může mít předpověď ENSO a jeho dopadů vedoucím k extrémním událostem (povodně, sucha, sesuvy apod.) v různých částech světa obrovský význam (Grimm a Tedeschi 2009).

2.2.10 Antarktida

Výzkum klimatu Antarktidy má přesah až do mimotropických oblastí jižní polokoule, neboť i její mírný pás je ovlivňován právě antarktickým podnebím. Bromwich et al. (2004) tvrdí, že Rossovo moře je jednou z klíčových oblastí pro variabilitu a změnu klimatu celé Země. Západní Antarktidu navíc označují za oblast s viditelnými změnami podnebí v posledních 50 letech, a to zejména zvyšováním teploty vzduchu a táním a rozpady mořských ledových ker (icebergů). Srážkové poměry Antarktidy prohlašují za zásadní faktor pro tání ledu a následného zvýšení hladiny světového oceánu, neboť rozdíl mezi srážkami a evaporací je určující pro akumulaci sněhu na ledovcových štítech.

Výzkumem vlivu ENSO na Antarktidu se zabývali mj. Bromwich et al. (2004). Na základě dat za zhruba 20leté období konce 20. století odhalili korelaci mezi hodnotou SOI a srážkovými úhrny v oblasti Západní Antarktidy a atlantským sektorem Jižního oceánu. Západní Antarktidou nazývají region ohraničený rovnoběžkou 75° j. z. š. a poledníky 120° z. z. d. a 180° z. d. Platí, že čím vyšší hodnota SOI, tím nižší srážkové úhrny v oblasti. Lze to tedy interpretovat tak, že při El Niño srážkové úhrny v Západní

Antarktidě rostou a naopak při La Niña klesají. Autoři k tomu přidávají ještě souvislost s rychlostí tryskového proudění na jižní polární frontě severně od Západní Antarktidy. Ta kladně koreluje se srážkovými úhrny, a je tedy vyšší při El Niño a nižší při La Niña. Atlantským sektorem Jižního oceánu je v tomto případě myšlena oblast ohraničena 65° a 75° j. z. š. a 30° a 60° z. z. d. Zde je závislost srážkových úhrnů na fázi ENSO v porovnání se Západní Antarktidou opačná, tedy při El Niño jsou zaznamenány odchylky srážek záporné a při La Niña naopak kladné.

Autoři práce si rovněž všímají měnící se intenzity vlivu ENSO na podnebí regionů vymezených výše. Ta se střídavě zvyšuje a snižuje se zhruba desetiletou periodou. Téhož si všímá i Turner (2004). Přisuzuje to změně polohy tlakových útvarů vznikajících severně od Západní Antarktidy, které způsobují buď proudění z moře nad pevninu, nebo obráceně, což pro pevninskou Západní Antarktidu obecně znamená vlhčí či naopak sušší podmínky. Tyto tlakové útvary rovněž pozměňují gradient tlaku vzduchu v poledníkovém směru (mezi polárním, resp. subpolárním a mírným pásmem), čímž zprostředkovaně ovlivňují rychlost tryskového proudění polární fronty (Bromwich et al. 2004).

Bromwich et al. (2004) i Turner (2004) jsou si však vědomi relativně krátké časové řady dostupných dat z Antarktidy, kde navíc místní podmínky komplikují jejich samotné pořízení. Vzhledem k tomu, že vlivem silného větru často dochází k převívání sněhu (který pak již v místě měření není vertikální srážkou), má smysl antarktické srážky určovat především z modelů. Bromwich et al. (2004) konstatují, že spolehlivé studie vlivu ENSO na klima Antarktidy musí ještě jejich závěry potvrdit. Turner (2004) pak věří, že klimatické modely a data ze stanic na ledovcových štítech pomohou odhalit také případný vliv ENSO na „kontinentální“ Antarktidu, nejen na oblasti, kterých se týkaly popsané výzkumy, jež lze zjednodušeně omezit na Antarktický poloostrov.

2.2.11 Arktida

ENSO spolu s Arktickou oscilací (AO) a Severoatlantskou oscilací (NAO) ovlivňuje také rozsah mořského zámruzu v severní polární oblasti, Arktidě. Liu et al. (2004) konstatují, že v období 1978 – 2002 se zalednění Arktidy ročně zmenšilo o cca 36 000 km². Nejpatrnější je to v Karském, Barentsově, Beaufortově,

části Ochotského moře a v částech Baffinova a Hudsonova zálivu. Naopak v Beringově moři a části Kanadského arktického souostroví konstatují nárůst zaledněné plochy. Připomínají, že plocha arktického zalednění je zásadní pro podnebí celé Země.

Z jejich studie vyplývá, že teplá fáze ENSO (El Niño) vede k úbytku ledu v Beaufortově moři a naopak nárůstu množství ledu v oblasti Severozápadního průjezdu. Je to způsobeno změnou cirkulace v rámci Ferrelovy buňky vyvolanou teplou fází ENSO, čímž jsou v oblasti změněn režim přenosu tepla v poledníkovém směru (Liu et al. 2004). S pozorovaným trendem konce 20. století, kdy časově převažuje záporná fáze ENSO nad kladnou, tak v prostoru Severozápadního průjezdu ledu přibývá. To však platí rovněž pro Beaufortovo moře, kde je to přičítáno Arktické oscilaci (Liu et al. 2004). Autoři práce ovšem upozorňují, že vlivy ENSO, AO a NAO kvantitativně nemohou vyrovnat tání ledu v souvislosti s globálním oteplováním.

2.2.12 Evropa

Dle prací mnohých autorů ENSO ve spojitosti se Severoatlantskou oscilací (NAO) působí rovněž na klima v Evropě. Brönnimann et al. (2006) našli s použitím rekonstruovaných dat za posledních 500 let symetrickou reakci na El Niño a La Niña v severovýchodní Evropě v období pozdní zimy a jara. El Niño podle jejich zjištění vede v tomto období k záporným teplotním anomáliím v SV Evropě a Turecku, záporným srážkovým anomáliím v Norsku a kladným srážkovým anomáliím v oblasti evropského Středomoří (40° - 45° s. z. š.).

Pozo-Vázquez et al. (2005) ve své práci popisují srážkové anomálie způsobené ENSO v Evropě v zimě, kdy jsou obvykle extrémní fáze ENSO (El Niño/La Niña) ve své vrcholné fázi. Docházejí k závěru, že La Niña vede ke kladným srážkovým anomáliím severně od Britských ostrovů a ve Skandinávii a naopak k záporným anomáliím v jižní Evropě. To je v souladu s tvrzením Brönnimanna et al. (2006), kteří pro tyto regiony zaznamenali opačnou reakci na El Niño s dodatkem, že reakce na opačné fáze ENSO je

symetrická. Pozo-Vázquez et al. (2005) zdůrazňují význam srážkových anomálií způsobených ENSO především v jihozápadní části Pyrenejského poloostrova, kdy tyto anomálie dosahují velikosti odpovídající až 20 % průměrných zimních srážkových úhrnů a nejvýraznější jsou v prosinci. K obdobným odchylkám vede i kladná fáze Severoatlantské oscilace (NAO). Zima je přitom srážkově nejbohatší období jižní Evropy, připadá na ni 30 % celoročních srážek, jak uvádějí Pozo-Vázquez et al. 2004. Proto podle nich mají snížené srážkové úhrny v této oblasti masivní dopad na zemědělskou produkci, výrobu elektřiny z vodních elektráren a zásobování měst pitnou vodou. Lloyd-Hughes a Saunders (2002) uvádějí jako období s největším vlivem ENSO na srážky v Evropě jaro (březen – květen).

Bližší pozornost Pyrenejskému poloostrovu věnovali ve starší práci Rodó et al. (1997). Zde je výzkum vlivu ENSO na srážkové úhrny zvláště opodstatněný, neboť tato část Evropy má (a podle dostupných projekcí výhledově bude mít) zřejmě největší problémy s nedostatkem vody. Rodó et al. (1997) konstatovali, že regionem zasaženým vlivem ENSO bylo začátkem 20. století takřka výlučně východní Španělsko, ovšem ke konci století tento vliv nabýval na prostorovém rozsahu a na přelomu tisíciletí už byl patrný na celém Pyrenejském poloostrově. V tom autoři nacházejí rozdíl mezi vlivem ENSO a NAO, neboť vliv NAO, který byl prokázán v jiných studiích, byl v průběhu 20. století konstantní a zasahoval „pouze“ západní část Pyrenejského poloostrova. Pokorná a Huth (2015) to však vyvracejí a ukazují vliv NAO rovněž na celém Pyrenejském poloostrově. V některých oblastech ENSO vysvětluje až 50 % variability jarních srážek (Rodó et al. 1997). Vedle jara je zde vliv ENSO na srážky patrný rovněž na podzim.

Ve východním středomoří však Pozo-Vázquez et al. (2005) vyvracejí lineární souvislost (symetrickou reakci) mezi SOI (fází ENSO) a srážkovými anomáliemi. Zaznamenávají zde totiž záporné srážkové anomálie jak při El Niño, tak při La Niña, přičemž jejich kvantitativní parametry jsou při obou fázích ENSO zhruba stejné. Rovněž formulují zajímavý závěr, že intenzita extrémních fází ENSO (vyjádřená např. absolutní hodnotou SOI) nemá vliv na velikost odchylek srážkových úhrnů ve sledovaných regionech Evropy, ale tyto odchylky se pak ve zhruba stejné intenzitě projevují na větším území. Dojde tedy ke zvětšení oblastí zasažených srážkovými anomáliemi způsobených ENSO.

Z výsledků Pozo-Vázquez et al. (2005) vyplývá, že větší vliv na klimatické anomálie v Evropě má La Niña, neboť způsobuje odchylky především srážkových úhrnů ve Středomoří a v severní Evropě, zatímco vliv El Niño v jiných oblastech Evropy než ve Středomoří se autorům nepodařilo prokázat.

Lloyd-Hughes a Saunders (2002) uvádějí jako období s největším vlivem ENSO na srážky v Evropě jaro (březen – květen). Jejich výsledky se však s předchozími citovanými autory (a jimi citovanými pracemi dalších autorů) příliš neshodují. Lloyd-Hughes a Saunders (2002) totiž za region s největším dopadem ENSO na srážky označují střední Evropu (45° - 55° s. z. š.; 35° v. z. d. – 5° z. z. d.), kde předchozí autoři vůbec nenašli signifikantní souvislost mezi srážkami a ENSO. Reakce na fáze ENSO má být ve střední Evropě symetrická (Lloyd-Hughes a Saunders 2002). Přesnost sezónní předpovědi srážkových úhrnů přitom podle nich roste v letech se silně vyvinutou fází ENSO (ať teplou, či chladnou), což pokládají za jeden z důkazů vlivu ENSO na evropské srážkové poměry. Doplnují, že jaro je nejpředpověditelnějším ročním obdobím z hlediska srážek v Evropě.

Lloyd-Hughes a Saunders (2002) citují práce dalších autorů, kteří mj. určili, že ENSO vysvětluje zhruba čtvrtinu variability jarních srážek (v období března – květen) pro úzeji vymezenou střední Evropou ($47,5^{\circ}$ - $52,5^{\circ}$ s. z. š.; 35° v. z. d. – 5° z. z. d.). Rovněž však zmiňují poznatek, že vliv ENSO mohou překrýt další vlivy, jmenovitě pak zejména teplota povrchu moře (SST) v severním Atlantickém oceánu, na základě jejichž odchylek v zimě lze například předpovídat odchylky teploty, tlaku a srážek v létě. Lloyd-Hughes a Saunders (2002) pak na základě své studie tvrdí, že při zohlednění vlivu ENSO a teploty povrchu moře (SST) severního Atlantiku lze předpovědět až 30 % variability srážek v pásu střední Evropy vymezeném v předchozím odstavci. Sami však závěrem přiznávají, že jejich výsledky nemají tak velký praktický význam, neboť jsou počítány pro příliš velké území a relevantní dopad ENSO nejen na srážky samotné, ale především na jevy na ně vázané (především s ohledem na nedostatek či naopak nadbytek vláh a vody ve vodních tocích a rezervoárech) je třeba zkoumat v menších prostorových měřítcích.

Vliv ENSO na klima Evropy na konci zimy prohlašují Brönnimann et al. (2006) s využitím dat posledních 3 století za evidentní. Při zaznamenaných událostech El Niño totiž buď došlo k anomáliím popsaným

výše, nebo k výraznějším odchylkám nedošlo. Nikdy podle nich nedošlo k opačným odchylkám. Zda k popsaným dopadům ENSO v Evropě dojde, nepovažují za náhodné. Dostatečně silný efekt ENSO na evropské podnebí se projevil v zimních obdobích, která bezprostředně následovala po letech, kdy došlo k současnému působení ENSO a PDO v severním Tichém oceánu. Tvrdí tedy, že klima Atlantského oceánu ovlivňuje podmínky Tichého oceánu jak v tropických šířkách, kde tento vliv prokázaly jiné studie, tak i v severním sektoru obou oceánů. Signál ENSO na podnebí Evropy se však vyruší sopečnými erupcemi s vlivem na klima, což je třeba při analýzách dat zohlednit (Brönnimann et al. 2006). Na druhou stranu Pozo-Vázquez et al. (2005) citují do značné míry protichůdné výsledky různých autorů zabývajících se vlivem ENSO na klima v Evropě a poukazují, že tento vliv může být zřejmě oslabován jinými vlivy, např. vlivem NAO. Přestože přesnost sezónní předpovědi v Evropě v závislosti na ENSO je nižší než v tropech, není nemožná (Lloyd-Hughes a Saunders 2002).

2.2.13 Afrika

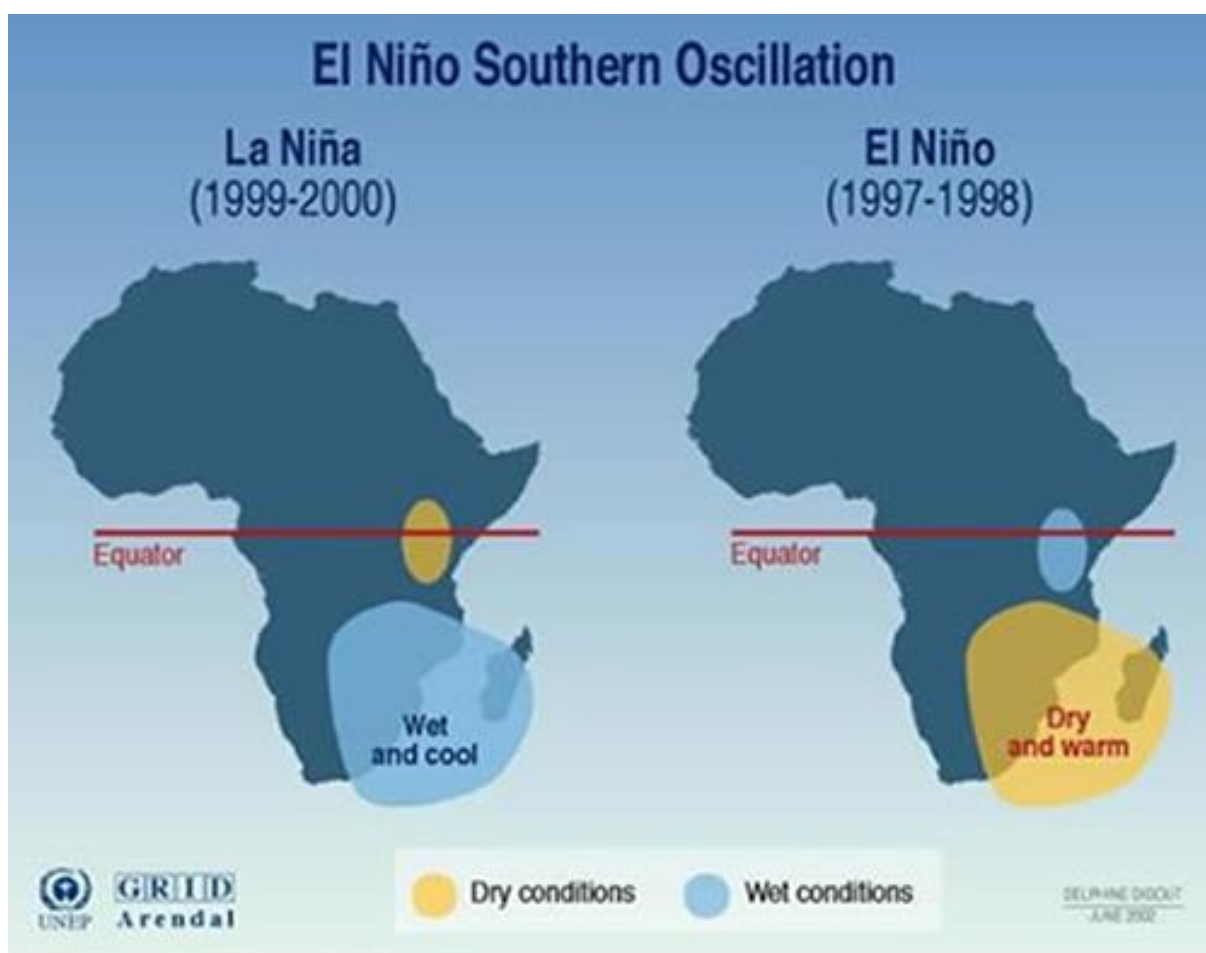
Význam výzkumu vlivu ENSO na variabilitu klimatu v Africe má zvláštní význam proto, že obyvatelstvo nejchudšího kontinentu je většinou stále závislé na (své) primární zemědělské produkci. Navíc je Afrika regionem s vysokým výskytem nemocí a relativně častých ozbrojených konfliktů, což jsou okolnosti, jež přispívají k tomu, že tamní populace je vůči variabilitě klimatu velmi citlivá (Phillipon et al. 2014). Patz et al. 2005 navíc uvádějí prokázanou souvislost mezi srážkovými anomáliemi vyvolanými ENSO a výskytem malárie v Ugandě, horečky v oblasti Východoafrické příkopové propadliny a virových onemocnění plic v JZ Africe.

Vlivem ENSO na klima Afriky se zabývali např. Nicholson a Kim (1997). Nejvýraznější vliv ENSO na srážkové anomálie Afriky identifikovali ve východní rovníkové Africe a v JV Africe. ENSO se však v určité své fázi a roční době může projevit kdekoli na kontinentu. Jako první jsou srážkové úhrny při vyvinuté události ENSO pozmeněny v jižní Africe, následně jsou jeho vlivem postihovány čím dál severnější oblasti. Tím Nicholson a Kim (1997) vysvětlují i vzájemně opačné srážkové anomálie v rovníkové a jižní Africe,

neboť v době, kdy ENSO zvyšuje srážky v jižní Africe, je ještě nezvyšuje v rovníkové Africe a když je zvyšuje v rovníkové Africe, tak už je nezvyšuje v jižní Africe. Totéž ilustruje obr. č. 9 vycházející z fázi ENSO v letech 1997 až 2000.

Nicholson a Kim (1997) podotýkají, že společně s vlivem ENSO srážkové úhrny v Africe ovlivňuje také teplota povrchu moře v Atlantském, resp. Indickém oceánu, přičemž při La Niña převládá vliv Atlantského oceánu, zatímco při El Niño vliv Indického oceánu. Odchytky SST v těchto oceánech jsou však podle nich rovněž vázány na ENSO, resp. jeho fázi, jak je zde uvedeno.

Obrázek č. 9 – Schématické znázornění vlivu ENSO na srážky v Africe



Sources: Climate Prediction Center-NCEP.

Zdroj: SA Geography (2012)

Philippon et al. (2014) pro studii vlivu ENSO na Afriku používá namísto často nedokonalých a nedostatečných (ať už kvalitativně, kvantitativně či z hlediska prostorového rozmístění) dat ze staničních měření v Africe NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) získaný z dat DPZ. Jeho výhodou je velké

prostorové rozlišení a autoři ho považují za dostatečnou náhradu dat o srážkových úhrnech, neboť NDVI je dán především srážkami a dobou pokrytí oblačností/slunečního svitu. Jsou si však vědomi jeho omezené platnosti ve vztahu ke klimatu v trvale vlhkých tropech, kde dostatek vláhy nemusejí zajišťovat srážky (jak se dá zpravidla NDVI interpretovat), ale jen zatažená obloha, a také v zavlažovaných oblastech. Od července do září tak nacházejí vztah mezi odchylkami teploty povrchu moře (SST) v tropickém Pacifiku (jako ukazatel ENSO), podle něhož vedou kladné odchylky SST v tropickém Pacifiku k mírnému snížení srážkových úhrnů severně od rovníku (tedy mj. v Sahelu, pobřežních oblastech Guinejského zálivu a pásu střední Afriky od severní Demokratické republiky Kongo po Etiopii). Naopak v jižní Africe El Niño vede k vyšším srážkovým úhrnům v zimním období, které tam ve zmiňované měsíce probíhá. V říjnu a listopadu pak mizí záporné odchylky v Súdánu, Etiopii, a Ugandě, zatímco v Somálsku (v nejvýchodnějším regionu Afriky) a také na JV pobřeží Jižní Afriky se začínají vyvíjet kladné srážkové anomálie, které přetrvávají do prosince (Phillipon et al. 2014). V létě jižní polokoule, kdy je Intertropická zóna konvergence (ITCZ) posunuta směrem k jihu, se oblast kladných srážkových odchylek způsobená El Niño rozšiřuje z prostoru afrického rohu směrem na západ a na jih. V Jižní Africe, Zimbabwe a Mosambiku jsou v tomto období při El Niño naopak zaznamenávány záporné srážkové anomálie. Tyto podmínky přetrvávají až do března, kdy lze jižně od 18° j. z. š. mluvit o suchém a naopak severně od 18° j. z. š. o vlhkém období. Od dubna do června jsou však záporné odchylky zaznamenávány dosud v jižní Africe patrné až do 10° j. z. š. (Phillipon et al. 2014).

Z výše uvedeného mj. plyne, že fáze ENSO ovlivňují polohu ITCZ, a tedy na ni navázanou konvekci a polohu Hadleyho buňky (Phillipon et al. 2014). Autoři si dále všimají, že se jedná o převážně semiaridní oblasti, ovšem období nejvýznamnějšího vlivu ENSO se ne vždy v daném regionu překrývá s obdobím dešťů.

Meque a Abiodun (2015) zaznamenávali vliv ENSO na klima jižní Afriky pomocí indexu SPEI (Standardized Precipitation-Evaporation Index), který v sobě zahrnuje jak srážky (Precipitation), tak teploty, neboť

ty jsou zásadní pro výpar (Evaporation). Prokázali, že ENSO je zodpovědné za sucha zasahující jižní Afriku. Korelace mezi ENSO a teplotami je přitom podle nich ještě vyšší než korelace mezi ENSO a srážkami, z čehož usuzují, že vliv ENSO na klima (nejen) jižní Afriky mohl být v dřívějších pracích, jež často zkoumají jen vliv ENSO na srážky, podhodnocen.

I v Africe se nacházejí oblasti s asymetrickou reakcí na opačné fáze ENSO, jak je popisuje Phillipon et al. (2014). V Gabonu El Niño srážky snižuje v červenci a srpnu a v jižní Africe od prosince do května. Ve východní Africe od října do května však El Niño srážkové úhrny naopak zvyšuje. Kvantitativně největší ovlivnění podnebí ENSO v západní Africe identifikovali v červenci a srpnu v Guinejském zálivu, kde La Niña srážky zvyšuje, současně však také klesá pokrytí oblačností, což je unikátní výsledek jinde nepozorovaný. Vyvozují z toho, že La Niña mění převládající typ oblačnosti vyskytující se v této oblasti. Zvláštní pozornost ve výzkumu vlivu ENSO na srážky by podle Phillipona et al. (2014) měla být věnována regionům se zimním vlivem ENSO, neboť se podle jejich výsledků jedná o hustě zalidněné oblasti s intenzivní zemědělskou produkcí, jež se navíc nacházejí na rozhraní mírného a tropického pásu, tedy oblasti výhledově nejpostiženější klimatickou změnou.

Právě v regionu splňujícím tato kritéria, v JV Africe, odhalili Meque a Abiodun (2015) nejvyšší vliv ENSO na sucho v Africe. Při El Niño totiž tlakovému poli v této oblasti dominuje tlaková výše se středem nad kontinentem, která zeslabuje konvekci, a tedy i srážky. Naopak pokud jižní Afriku zasáhne v létě La Niña, dochází zde k anomální konvergenci při povrchu Země, a tím ke zvýšení srážkových úhrnů. To potvrzují Sun et al. (2015), kteří v jižní Africe při La Niña popisují kladné srážkové anomálie v tamním létě a podzimu.

Ve střední tropické Africe našli Phillipon et al. (2014) jen slabý vliv ENSO. V únoru a březnu zde El Niño srážkové úhrny zvyšuje. V červenci a srpnu El Niño srážkové úhrny snižuje a La Niña zvyšuje. Stejní autoři tvrdí, že vliv ENSO na severní Afriku a Sahel je slabý. Turner (2004) ovšem cituje Warda (1998), který většinu suchých epizod v Sahelu přičítá právě vlivu ENSO.

3 Praktická část

V této části práce budou statisticky zpracována data o srážkových úhrnech ze 6 vybraných stanic a vypočítán korelační koeficient mezi srážkovými úhrny a hodnotou indexu jižní oscilace (SOI). Cílem této části není odhalit nové, dosud neznámé obecně platné závislosti mezi ENSO a klimatem v jiné části Země, než je region přímého působení ENSO, ale na příkladu vybraných stanic ilustrovat vliv ENSO na klima (a to konkrétně srážky) takového regionu a diskutovat výsledky dosažené v této části s výsledky prezentovanými v rešeršní části této práce.

Vybráno bylo 6 stanic na Pyrenejském poloostrově. Volba Pyrenejského poloostrova vychází z faktu, že je to Česku geograficky nejbližší oblast z těch, ve kterých se autoři citovaní v rešeršní části této práce relativně shodují na prokazatelném vlivu ENSO. Pyrenejský poloostrov byl zvolen přesto, že v jiných částech světa (např. v některých regionech Ameriky či Asie) je vliv ENSO na klima významnější a prokazatelnější (viz rešeršní část) a autor této práce si je vědom, že hodnoty výsledného korelačního koeficientu nemusí vliv ENSO na klima Pyrenejského poloostrova prokazovat tak jednoznačně, jako by tomu pravděpodobně bylo např. v oblasti Laplatské nížiny.

Index jižní oscilace (SOI) byl zvolen jako ukazatel ENSO proto, že je patrně nejtradičnějším ukazatelem ENSO (viz rešeršní část práce).

Data byla analyzována pro období posledních 50 ukončených let, tedy pro období od ledna 1966 do prosince 2015.

3.1 Data

Hodnoty indexu jižní oscilace (SOI) byly získány z webové služby NCEI (National Centers for Environmental Information) *Southern Oscillation Index (SOI)*, pod které spadá mj. i NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Převzaty byly měsíční průměry hodnot SOI. Zde je přesný postup výpočtu použitých hodnot SOI převzatý z této služby:

$$SOI = (SSO \text{ Tahiti} - SSO \text{ Darwin}) / MSO \text{ (1),}$$

$$SSO = (SLPact - SLPmean) / SO \text{ (2),}$$

$$SO = \sqrt{\sum (SLPact - SLPmean)^2} / N \text{ (3),}$$

$$MSO = \sqrt{\sum (SSO \text{ Tahiti} - SSO \text{ Darwin})^2} / N \text{ (4),}$$

kde význam použitých značek shrnuje tabulka č. 2. Pro určení průměrných hodnot tlaku vzduchu redukováného na hladinu moře (SLP) NOAA používá referenční období 1951 – 1980.

Tabulka č. 2 – Použité značky ve vzorcích (1), (2), (3) a (4)

Značka	Význam
SOI	Index jižní oscilace
SSO	Standardizovaná směrodatná odchylka hodnot tlaku vzduchu na hladině moře (SLP) pro danou stanici
MSO	Měsíční směrodatná odchylka hodnot tlaku vzduchu na hladině moře (SLP)
SLPact	Hodnota tlaku vzduchu na hladině moře (SLP) pro daný měsíc na dané stanici
SLP-mean	Průměrná hodnota tlaku vzduchu na hladině moře (SLP) na dané stanici
SO	Směrodatná odchylka hodnot tlaku vzduchu na dané stanici
N	Počet započítaných měsíců

(upraveno podle NCEI 2016)

Data o měsíčních srážkových úhrnech na vybraných stanicích byla získána z webové služby *Climate Data Online (CDO)*, spadající rovněž pod National Centers for Environmental Information (NCEI), po-
tažmo pod NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

3.2 Výběr stanic

Stanice byly vybrány tak, aby v rámci rozlohy Pyrenejského poloostrova reprezentovaly relativně různé geografické (a klimatické) oblasti. Byly tedy zvoleny stanice vzájemně relativně vzdálené, s různou nadmořskou výškou, umístěné při pobřeží i ve velké vzdálenosti (vzhledem k podmínkám Pyrenejského poloostrova) od moře. Přehled jejich základních charakteristik shrnuje tabulka č. 3.

Tabulka č. 3 – Charakteristiky zvolených stanic

Název stanice	Kód stanice	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Nadmořská výška
Madrid Getafe	GHCND:SPE00120296	40,30° s.z.š.	3,72° z.z.d.	617 m
Badajoz Talavera La Real	GHCND:SP000004452	38,88° s.z.š.	6,83° z.z.d.	185 m
Albacete Los Llanos	GHCND:SP000008280	38,95° s.z.š.	1,86° z.z.d.	704 m
A Coruna	GHCND:SPE00119711	43,37° s.z.š.	8,42° z.z.d.	58 m
Bilbao Aeropuerto	GHCND:SPE00120611	43,30° s.z.š.	2,91° z.z.d.	42 m
Sevilla San Pablo	GHCND:SPE00120512	37,42° s.z.š.	5,88° z.z.d.	34 m

(podle NCEI 2016)

V dalším textu bude pro jednoduchost každá stanice označována už pouze místním názvem města, ke kterému přísluší.

3.3 Použité metody

Ze získaných dat o hodnotách celkových měsíčních úhrnů srážek byl pro každou stanici počítán průměrný měsíční úhrn srážek. Shrnuje je tabulka č. 4.

Tabulka č. 4 – Průměrné měsíční srážkové úhrny v mm pro období 1966 – 2015

Stanice	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Madrid	38,9	38,7	30,7	47,9	46,2	23,5	10,7	9,0	25,5	55,6	55,1	46,3
Badajoz	54,3	50,0	38,2	47,8	35,0	17,8	3,1	6,3	22,2	62,2	62,2	61,1
Albacete	22,3	25,9	31,0	45,9	43,3	36,6	8,7	13,4	30,7	42,0	34,7	27,8
A Coruña	127,1	97,2	77,8	84,2	76,6	46,8	30,6	34,2	61,6	117,4	131,1	125,4
Bilbao	125,1	100,8	97,1	110,8	87,4	62,9	53,0	71,8	72,3	109,5	155,6	126,5
Sevilla	71,2	61,3	45,6	53,8	29,1	13,7	1,5	5,2	27,9	70,5	80,5	81,6

Z rozdílů v hodnotách průměrných měsíčních srážek na jednotlivých stanicích je patrné, že stanice zastupují několik klimatických oblastí, jak bylo zamýšleno při jejich výběru, který probíhal na základě jejich umístění.

Následně byla pro každý měsíc v časové řadě leden 1966 až prosinec 2015 vypočítána odchylka srážkových úhrnů vůči spočítanému průměru za toto období uvedenému v tabulce č. 4. Hodnoty těchto odchylek i indexu jižní oscilace (SOI) pak byly rozříděny podle měsíců, vznikly tedy 50leté řady v jednotlivých kalendářních měsících. Pro hodnoty srážkových odchylek a SOI v těchto řadách podle kalendářních měsíců byly určeny korelační koeficienty. Jejich výsledné hodnoty souhrnně uvádí tabulka č. 5.

Tabulka č. 5 – Korelační koeficienty mezi srážkovými odchylkami a SOI (tučně vyznačeny statisticky významné hodnoty)

Stanice	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Madrid	-0,04	-0,08	0,27	0,20	0,26	-0,12	-0,24	-0,14	-0,29	-0,22	-0,17	0,04
Badajoz	-0,04	-0,01	0,24	0,30	0,20	-0,03	-0,28	-0,08	-0,31	-0,19	-0,19	-0,04
Albacete	-0,04	-0,03	0,26	0,16	0,18	0,03	-0,07	0,09	-0,01	-0,04	-0,17	0,20
A Coruña	0,15	-0,08	0,28	-0,13	-0,01	-0,27	-0,11	-0,21	-0,09	-0,16	-0,19	-0,11
Bilbao	0,04	-0,15	0,22	-0,15	-0,06	-0,11	-0,26	0,00	-0,03	0,02	-0,02	-0,01
Sevilla	-0,08	-0,06	0,30	0,39	0,20	0,09	-0,30	-0,18	-0,32	-0,15	-0,22	0,04

3.4 Interpretace a diskuze výsledků

Statisticky významné na hladině $\alpha = 0,05$ (5 %) jsou však až korelační koeficienty s absolutní hodnotou vyšší než 0,27. Hodnoty splňující toto kritérium jsou v tabulce č. 5 vyznačeny tučně a jak je z tabulky patrné, je takových hodnot v součtu všech stanic a měsíců jen devět. Je to zřejmě důsledkem toho, k čemu dospěli i autoři citovaní v rešeršní části této práce, např. Brönnimann et al. (2006), kteří zdůrazňují vliv fáze Severoatlantské oscilace (NAO), jež může projevy ENSO do značné míry zastínit. Výsledky lze také interpretovat tak, že ENSO není rozhodujícím determinantem celoročních odchylek klimatu zkoumané oblasti (jak je to popisováno pro regiony přímého působení ENSO na pobřeží Tichého oceánu), což je v souladu s určitou nejednoznačností závěrů autorů zkoumajících vliv ENSO v Evropě (viz příslušná kapitola v rešeršní části).

Přesto je možné sledovat v dosažených výsledcích v určitou roční dobu zřejmý vliv ENSO na srážkové úhrny na Pyrenejském poloostrově (reprezentovaném zvolenými stanicemi), ne vždy se však shodují s literaturou citovanou v rešeršní části. Brönnimann et al. (2006) popisují, že v období konce zimy a jara způsobuje El Niño v evropském Středomoří kladné odchylky srážek. Vzhledem k tomu, že El Niño je reprezentováno zápornými hodnotami SOI, měl by být vliv popisovaný Brönnimannem et al. (2006) dokumentován zápornými hodnotami korelačních koeficientů. Z dosažených výsledků je však zřejmé, že hodnoty korelačního koeficientu v březnu jsou na všech stanicích kladné, a to dokonce tak, že na většině stanic znamenají nejvyšší kladnou hodnotu v rámci celého roku.

Pozo-Vázquez et al. (2005) pak uvádějí, že ENSO zodpovídá za záporné srážkové odchylky při La Niña v zimě (nejvíce v prosinci), a to především v jihozápadní části Pyrenejského poloostrova. Ani tato hypotéza však nebyla potvrzena, neboť absolutní hodnoty zjištěných korelačních koeficientů se v zimě spíše blíží nule (např. na stanicích Sevilla a Badajoz, které lze zahrnout do JZ Pyrenejského poloostrova, je prosincová hodnota vypočteného korelačního koeficientu 0,04, resp. -0,04).

Výsledky naopak kvalitativně (znaménkem korelačního koeficientu) dobře korespondují s prací Rodó et al. (1997), kteří v práci věnované přímo Pyrenejskému poloostrovu tvrdí, že ENSO ovlivňuje srážky v

tomto regionu především na jaře (v určitých regionech vysvětluje v tomto ročním období až 50 % variability jarních srážek) a jeho vliv je patrný rovněž na podzim. Absolutní hodnoty vypočtených korelačních koeficientů jsou na zvolených stanicích v březnu jedny z nejvyšších, přičemž na všech přesahují hodnotu 0,2 a shodují se v kladném znaménku. To signalizuje pozitivní srážkové anomálie při La Niña a negativní při El Niño. Toto tvrzení se dá zobecnit pro celé jaro (březen až květen) na stanicích Madrid, Albacete, Badajoz a Sevilla. Ani v těchto měsících však nebylo na všech stanicích dosaženo statisticky významné hodnoty korelačního koeficientu, proto je třeba zmínit, že kvantitativní vliv ENSO na srážkové anomálie, který uvádějí Rodó et al. (1997) nebyl potvrzen.

3.4.1 „Sušší“ regiony Pyrenejského poloostrova

Při pohledu na hodnoty korelačních koeficientů uvedené v tabulce č. 5 je zřejmé, že srovnatelné výsledky vykazují stanice Madrid, Badajoz a Sevilla, reprezentující zde (zhruba) střed, východ a jih Pyrenejského poloostrova. S výjimkou pozdního léta a brzkého podzimu (období od srpna do října) a vzhledem ke všem ostatním stanicím anomální hodnoty pro prosinec lze k výše uvedeným stanicím přiřadit také stanici v Albacete zastupující východní část Pyrenejského poloostrova. Není zřejmě náhoda, že tyto stanice mají v porovnání s A Coruňou a Bilbaem nacházejícími se při severním pobřeží Španělska celoročně zřetelně nižší průměrné srážkové úhrny. Pro následující odstavce tedy prohlasme uvedené 4 stanice za reprezentanty „sušší“ části Pyrenejského poloostrova.

V té není žádný vliv ENSO na srážky patrný po celou zimu. Na jaře se pak do jisté míry potvrzuje výše uvedené tvrzení Pozó et al. (1997). V červnu se hodnoty korelačního koeficientu přiblíží nule, aby pak v červenci nabyly relativně výrazně (v rámci celkových dosažených výsledků) záporných hodnot. To by tedy znamenalo kladné srážkové anomálie při El Niño a záporné při La Niña. V tomto měsíci je však na místě brát ohled na zvlášť nízké průměrné srážkové úhrny. Na stanici v Seville je v 50leté řadě v červenci jen čtyřikrát zaznamenán vyšší měsíční srážkový úhrn než 1 mm, přičemž pro většinu let nejsou uvedeny vůbec žádné srážky. To může představovat problém pro samotnou metodu použitou v této

práci. Pro lineární korelaci je totiž nutné, aby hodnocená data (v tomto případě srážkové odchylky) měla normální rozdělení, což pro letní měsíce v Seville s mnoha nulovými hodnotami velmi pravděpodobně neplatí. S ohledem na to, že cílem této práce je pouze pokusit se ilustrovat vliv ENSO na srážky ve zvolené oblasti a nikoliv ho s určitostí prokázat, nebyla pro Sevillu použita jiná metoda, při níž by absence normálního rozdělení dat nevadila.

Ilustrativně se však na hodnoty ze Sevilly podívejme blíže. Je velmi zajímavé, že v červenci 1987, kdy zde byla naměřena zdaleka nejvyšší hodnota 48,7 mm, byla hodnota SOI -1,4, což je druhá nejnižší hodnota SOI v celé 50leté červencové řadě (signalizující El Niño). Nejnižší hodnota SOI v červencové řadě, -1,5, platná pro červenec 1982, koresponduje s třetím nejvyšším měsíčním úhrnem srážek naměřeným v Seville, 9,5 mm. Rozdíl mezi těmito hodnotami SOI je ovšem v tom, že v roce 1982 se jednalo o první měsíc, kdy byla hodnota SOI menší než -1, zatímco v roce 1987 se jednalo o šestý po sobě jdoucí měsíc, kdy byla hodnota SOI menší než -1, a jednalo se tedy jednoznačně o rok s typickými podmínkami El Niño. K druhému nejdeštivějšímu červenci v Seville ve sledovaném období došlo v roce 1991, kdy bylo zaznamenáno 10,2 mm srážek. Hodnota SOI v tomto měsíci sice odpovídá nule, je ovšem obklopena výhradně zápornými hodnotami pro ostatní měsíce v daném roce nepřetržitě od února až do prosince.

Že se v červenci 1982 v Seville nejednalo jen o lokálně omezenou, jednorázovou srážkovou epizodu snad dostatečně dokládá skutečnost, že tento červenec je druhý nejdeštivější rovněž v Badajozu (23,5 mm, odchylka 20,4 mm). Při největší srážkové epizodě v Badajozu v červenci 1997 dosahoval SOI hodnoty -0,8, což byla ovšem nejvyšší hodnota SOI v období od května 1997 do dubna 1998, tedy při události, pro niž se v literatuře vžilo označení „El Niño století“.

Července 1987 a 1997 vykazují v rámci 50leté řady tohoto měsíce největší odchylky (jak kladné, tak absolutní) rovněž na stanici v Madridu – 33,2 mm, resp. 42,1 mm.

Obrovské kladné odchylky pak byly zaznamenány v listopadu 1997 (při „El Niño století“) – v Madridu 143,3 mm, v Badajozu 207,5 mm a v Seville 149,2 mm – zde navíc následovala prosincová odchylka

111,2 mm. Pro stanice v Madridu a Badajozu se jedná o absolutně nejvyšší odchylky v rámci celé měsíční řady za celé sledované období od ledna 1966 do prosince 2015.

Výše uvedené tedy zřejmě dostatečně ilustruje hypotézu, že výskyt extrémních srážkových epizod v oblasti „suchého“ Španělska, potažmo celého Pyrenejského poloostrova (Badajoz leží při portugalských hranicích), není nezávislý na fázi ENSO. V tomto se tedy výsledky shodují s tvrzením Brönnimanna et al. (2006), který prohlašuje vliv ENSO na klima Středomoří za evidentní z poznatku, že při dané fázi ENSO buď dochází k daným odchylkám (kladným či záporným), nebo se hodnoty od průměru neodchylují. Při opačné fázi ENSO však nikdy nedochází k opačným odchylkám. V popsaném případě Sevilly tedy ke kladným odchylkám srážkových úhrnů v červenci došlo vždy při podmínkách El Niño, nikdy při La Niña.

Vraťme se ještě k interpretaci dosažených hodnot korelačních koeficientů. Pro „suché“ Španělsko vychází relativně významná záporná hodnota SOI pro období celého podzimu, přičemž nejsilnější je v září a k listopadu klesá. Zářijové hodnoty však přímo nenavazují na obdobné červencové, neboť v srpnu se přechodně přiblíží k nule. Znaménko SOI však jednoznačně indikuje, že znaménko odchylek, jež mohou nastat v červenci, se pro podzim nemění. La Niña tak může znamenat anomálně sucho, El Niño anomálně vlhko. V Badajozu např. dosáhly ve všech podzimních měsících let 1970 a 1971 záporných odchylek srážkových úhrnů v řádu desítek mm v rámci každého měsíce při hodnotách SOI 1,2, 1 a 1,6 v roce 1970, resp. 1,4, 1,7 a 0,5 v roce 1971. S ohledem na dostatek vody pro zemědělské a jiné účely může proto suchý podzim v návaznosti na suché léto (které odpovídá průměrným podmínkám) představovat velmi závažný problém.

3.4.2 A Coruña

Korelační koeficient pro stanici A Coruña nabýval nejvyšších absolutních hodnot v březnu (0,28), kdy se dopad ENSO na srážkové úhrny shodoval s jižněji položenými stanicemi. Od těch se však výrazně odlišuje červnovou hodnotou -0,27 a zářijovou hodnotou -0,09. Zatímco v červnu ostatní stanice silný

vliv ENSO na srážky na Pyrenejském ostrově neindikují, A Coruña, na samém severozápadě poloostrova, vykazuje obdobné hodnoty, které v červenci a na podzim zaznamenávaly stanice ve výše popsané „sušší“ části poloostrova, tedy kladné odchylky srážek při El Niño a záporné při La Niña. Naopak v září, kdy je na jižněji položených stanicích absolutní hodnota korelačního koeficientu relativně vysoká, se zde přibližuje k nule. Vyšší absolutní hodnoty korelačního koeficientu proti ostatním stanicím vykazuje rovněž v lednu.

Zajímavý je u této stanice především fakt, že jen ve dvou měsících v roce (lednu a březnu) korelační koeficient nevychází záporně, byť jsou v některých měsících záporné hodnoty blízko nule. S ohledem na hodnoty korelačního koeficientu tak lze vyvodit, že snížení srážkových úhrnů při El Niño a naopak zvýšení při La Niña nastává jedině v zimě a brzo na jaře. Situace při „El Niño století“ tomu odpovídala – od ledna do března 1998 (SOI = -2,7, -2 a -2,4) byly zaznamenány záporné odchylky srážek -43,4 mm, -61,2 mm a -66,9 mm. V tomto konkrétním roce souhlasí i změna hodnoty korelačního koeficientu v dubnu, který nabývá zřetelně záporné hodnoty (což je velký rozdíl proti výše popsaným „sušším“ oblastem) – v dubnu 1998 byla při „El Niño století“ zaznamenána kladná srážková odchylka 147,7 mm, což je vůbec nejvyšší dubnová odchylka v celé 50leté řadě. Při obou nejnižších hodnotách SOI pro červen v rámci sledovaného 50letého období v letech 1987 a 1997 nastaly korelačním koeficientem předpokládané kladné srážkové anomálie v řádu desítek mm, v prvním případě (v červnu 1987) šlo o druhou největší srážkovou odchylku v červnu ve sledovaném období (74,4 mm).

3.4.3 Bilbao

Stanice Bilbao nacházející se v Baskicku na SV Pyrenejského poloostrova má ze všech stanic nejvyšší měsíční průměry srážek, když ji těsně překonává jen A Coruña v lednu (viz tabulka č. 4). Zároveň dosahuje obecně nejnižších absolutních hodnot vypočtených korelačních koeficientů. Hodnot SOI vyšších

než 0,1 dosahuje jen v únoru (záporných), březnu (kladných) a dubnu (záporných), kde se svým chováním podobá stanici A Coruña, a v červnu a především v červenci (záporných), kdy vykazuje podobné hodnoty jako „sušší“ část Pyrenejského poloostrova.

Nejvyšší červencová absolutní hodnota srážkových anomálií 139,5 mm zde byla dosažena v roce 1977 při SOI = -1,1, přičemž hodnoty SOI byly záporné od března 1977 do dubna 1978 a jednalo se o poměrně významné El Niño zmiňované často jako příklad teplé fáze ENSO v literatuře. Druhá největší anomálie, 64,2 mm, pak připadá na již výše několikrát zmiňované „El Niño století“, tedy červenec 1997. Jinak ovšem tato stanice (potažmo oblast, kterou zastupuje) známky signifikantního vlivu ENSO na srážky nevykazuje – viz mj. hodnoty korelačního koeficientu pro tuto stanici od srpna do ledna, které jsou velmi blízko nule.

3.5 Shrnutí

Z výsledků této části práce je zřejmé, že ENSO určitý vliv na srážkové anomálie na Pyrenejském poloostrově má. Výsledky se víceméně shodují s tvrzeními Rodó et al. (1997) o vlivu El Niño zejména na jaře a v létě. Zhodnocením nejvýraznějších srážkových odchylek v měsících, kdy korelační koeficient pro jednotlivé stanice signalizoval zřetelný vliv ENSO, bylo ilustrováno také tvrzení Brönnimanna et al. (2006), že určitá fáze ENSO nemusí vždy znamenat popsané odchylky. Platí ovšem obrácené tvrzení, tedy že k daným odchylkám (v ilustračním případě použitém v této práci šlo např. o výrazné kladné anomálie v červenci v sušší části Pyrenejského poloostrova) dochází při určité fázi ENSO (v ilustračním případě El Niño).

Vliv ENSO na srážkové úhrny sledované oblasti se zdá být obecně vyšší v regionech s nižšími průměrnými úhrny. Nejslaběji se pak podle vypočtených hodnot korelačních koeficientů ENSO na Pyrenejském poloostrově projevuje v zimě. Naopak měsícem s takřka univerzální a zřetelnou reakcí na fázi ENSO napříč celou sledovanou oblastí (na všech sledovaných stanicích) se zdá být březen, kdy El Niño přináší

záporné a La Niña kladné anomálie, a s výjimkou stanic Bilbao a také Albacete také červenec, kdy při El Niño může dojít ke kladným a při La Niña k záporným srážkovým odchylkám.

Je však třeba mít na paměti, že dosažené hodnoty korelačních koeficientů nejsou pro většinu měsíců z většiny stanic statisticky významné (viz tabulka č. 5), a i s ohledem na tvrzení Brönnimanna je proto zřejmě na místě hovořit spíš o tom, že určitá fáze ENSO (např. La Niña) v určitou roční dobu (např. v březnu) na Pyrenejském poloostrově s velkou pravděpodobností vylučuje určité anomálie (ve zvoleném příkladu záporné), přičemž k opačným (ve zvoleném příkladu kladné) dojít může, ale také nemusí.

Otázkou také zůstává, zda by nebylo vhodnější počítat korelaci mezi srážkovými odchylkami určitého měsíce a hodnotou SOI předcházejícího měsíce, neboť vliv ENSO se přes dálkové vazby přenáší s určitým zpožděním. I proto je zde znovu zdůrazněna skutečnost, že hlavní účel provedené analýzy byl pouze ilustrativní, nebylo cílem spolehlivě dokázat nezpochybnitelnou závislost mezi ENSO a srážkami na Pyrenejském poloostrově.

4 Závěr

Jak je možné usuzovat z výsledků různých studií prezentovaných v rešeršní části této práce, výzkum geograficky vzdálených projevů ENSO není přinejmenším pro některé oblasti světa ani zdaleka ukončen. Důležitý může být především poznatek uváděný až v pracích vydaných v posledních letech – např. Sun et al. (2015) – indikující, že ne ve všech oblastech je vliv El Niño a La Niña navzájem opačný, jak předpokládaly starší práce. Zároveň je např. z prací Suna et al. (2015) nebo Grimm a Tedeschi (2009) patrné, že má smysl zkoumat nejen lineární vliv ENSO na odchylky meteorologických prvků, ale i na četnost výskytu extrémních jevů (extrémních srážek vedoucích k povodním, dále such, horkých vln apod.). Můžeme se směle domnívat, že takový výzkum by byl pro mnohé společnosti ještě přínosnější, neboť právě extrémní jevy mívají na společnost ohromné dopady a prokázaná souvislost s fází ENSO a

výskytem takových jevů by umožňovala dané společnosti se na tuto extrémní událost připravit. V některých částech světa pak zbývá rozlišit vliv ENSO s dalšími vlivy, např. jiných oscilací – Arktické, Severoatlantské atd. – nebo dále potvrzovat platnost již vyslovených hypotéz o geograficky vzdáleném vlivu ENSO.

5 Použité zdroje

ANDREOLI, Rita V. a Mary T. KAYANO. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific decadal oscillation regimes. *International Journal of Climatology*. Royal Meteorological Society, 2005, **25**, 2017 - 2030. DOI: 10.1002/joc.1222. ISBN 10.1002/joc.1222.

August 2015 El Niño update: Supercalifragilisticexpalidocious. *Climate.gov* [online]. NOAA, 2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/august-2015-el-ni%C3%B1o-update-supercalifragilisticexpalidocious>

BROMWICH, David H., Zhichang GUO a Keith M. HINES. Modeled Antarctic Precipitation. Part II: ENSO Modulation over West Antarctica. *Journal of Climate*. American Meteorological Society, 2004, (17), 448 - 465.

BRÖNNIMANN, S., E. XOPLAKI, C. CASTY, A. PAULING a J. LUTERBACHER. ENSO influence on Europe during the last centuries. *Climate Dynamics*. 2006, **28**(2-3), 181-197. DOI: 10.1007/s00382-006-0175-z. ISSN 0930-7575.

CAI, Wenju, Peter VAN RENSCH, Tim COWAN a Harry H. HENDON. Teleconnection Pathways of ENSO and the IOD and the Mechanisms for Impacts on Australian Rainfall. *Journal of Climate*. 2011,**24**(15), 3910-3923. DOI: 10.1175/2011JCLI4129.1. ISSN 0894-8755.

Climate Data Online (CDO) [online]. National Centers for Environmental Information (NCEI), 2016 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/>

El Niño and La Niña processes and their effects on Africa's climate: What are the effects of El Niño on Precipitation Across New Mexico? *SA Geography* [online]. *SA Geography*, 2012 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://sageography.myschoolstuff.co.za/wiki/grade-11-caps/grade-11-caps-climate-and-weather/3-africas-weather-and-climate/4-el-nino-and-la-nina-processes-and-their-effects-on-africas-climate/>

El Niño Conditions in the Tropical Pacific: What are the effects of El Niño on Precipitation Across New Mexico? *National Weather Service (NWS) Weather Forecast Office* [online]. Albuquerque (ABQ), NM: NWS ABQ, 2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.srh.noaa.gov/abq/?n=clifeature_elnino-precip

FIEDLER, PC. Environmental change in the eastern tropical Pacific Ocean: review of ENSO and decadal variability. *Marine Ecology Progress Series*. 2002, **244**, 265-283. DOI: 10.3354/meps244265. ISSN 0171-8630.

FIEDLER, Paul C. a Lynne D. TALLEY. Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*. 2006,**69**(2-4), 143-180. DOI: 10.1016/j.pocean.2006.03.008. ISSN 00796611.

GIANNINI, Alessandra, John C. H. CHIANG, Mark A. CANE, Yochanan KUCHNIR a Richard SEAGER. The ENSO Teleconnection to the Tropical Atlantic Ocean: Contributions of the Remote and Local SSTs to Rainfall Variability in the Tropical Americas. *Journal of Climate*. American Meteorological Society, 2001, (14), 4530 - 4544.

GLANTZ, M. H., 1996: Currents of Change: El Niño's Impact on Climate and Society. Cambridge University Press, 194 pp.

GRIMM, Alice M. a Renata G. TEDESCHI. ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. *Journal of Climate*. 2009, **22**(7), 1589-1609. DOI: 10.1175/2008JCLI2429.1. ISSN 0894-8755.

HENDON, Harry H. Indonesian Rainfall Variability: Impacts of ENSO and Local Air–Sea Interaction. *Journal of Climate*. American Meteorological Society, 2003, (16), 1775 - 1790.

HU, Qi a Song FENG. AMO- and ENSO-Driven Summertime Circulation and Precipitation Variations in North America. *Journal of Climate*. 2012, **25**(19), 6477-6495. DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00520.1. ISSN 0894-8755.

KALVOVÁ, Jaroslava a Bedřich MOLDAN. *Klima a jeho změna v důsledku emisí skleníkových plynů*. 1. vyd. Praha: Univerzita Karlova, 1996. ISBN 80-7184-315-6.

LANDSEA, Christopher W. El Niño/Southern Oscillation and the Seasonal Predictability of Tropical Cyclones. In: DIAZ, Henry F. a Vera MARKGRAF. *El Niño and the southern oscillation: multiscale variability and global and regional impacts*. New York, NY: Cambridge University Press, 2000. ISBN 0521621380.

LAU, Ngar-Cheung. Interactions between Global SST Anomalies and the Midlatitude Atmospheric Circulation. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1997, **78**(1), 21 - 33.

LIM, Young-Kwon a Siegfried D. SCHUBERT. The impact of ENSO and the Arctic Oscillation on winter temperature extremes in the southeast United States. *Geophysical Research Letters*. 2011, **38**(15), n/a-n/a. DOI: 10.1029/2011GL048283. ISSN 00948276.

LIU, Jiping, Judith A. CURRY a Yongyun HU. Recent Arctic Sea Ice Variability: Connections to the Arctic Oscillation and the ENSO. *Geophysical Research Letters*. 2004, **31**(9), n/a-n/a. DOI: 10.1029/2004GL019858. ISSN 00948276.

LLOYD-HUGHES, Benjamin a Mark A. SAUNDERS. Seasonal prediction of European spring precipitation from El Niño-Southern Oscillation and Local sea-surface temperatures. *International Journal of Climatology*. 2002, **22**(1), 1-14 [cit. 2016-04-23]. DOI: 10.1002/joc.723. ISSN 08998418.

MEQUE, Arlindo a Babatunde J. ABIODUN. Simulating the link between ENSO and summer drought in Southern Africa using regional climate models. *Climate Dynamics*. 2015, **44**(7-8), 1881-1900. DOI: 10.1007/s00382-014-2143-3. ISSN 0930-7575.

Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS, dostupný na: <http://slovník.cmes.cz>

MISHRA, Ashok K. a Vijay P. SINGH. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*. 2010, **391**(1-2), 202-216. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.012. ISSN 00221694.

MURPHY, Bradley F. a Bertrand TIMBAL. A review of recent climate variability and climate change in southeastern Australia. *International Journal of Climatology*. 2008, (28), 859–879. DOI: 10.1002/joc.1627.

NASA/NOAA Study Finds El Niños Growing Stronger. *NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration* [online]. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 2010 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.noaanews.noaa.gov/stories2010/20100825_elnino.html

NICHOLLS, Neville. What The Instrumental And Recent Historical Records Tells Us About The El Niño-Southern Oscillation. In: GROVE, Richard a John CHAPPELL. *El Niño, history and crisis: studies from the Asia-Pacific region*. Cambridge, U.K.: White Horse Press, 2000. ISBN 1874267421.

- NICHOLSON, Sharon E. a Jeeyoung KIM. The Relationship of the El Niño-Southern Oscillation to African Rainfall. *International Journal of Climatology*. Royal Meteorological Society, 1997, (17), 117 - 135.
- PATZ, Jonathan A., Diarmid CAMPBELL-LENDRUM, Tracey HOLLOWAY a Jonathan A. FOLEY. Impact of regional climate change on human health. *Nature*. 2005, **438**(7066), 310-317. DOI: 10.1038/nature04188. ISSN 0028-0836.
- PHILIPPON, N., N. MARTINY, P. CAMBERLIN, M. T. HOFFMAN a V. GOND. Timing and Patterns of the ENSO Signal in Africa over the Last 30 Years: Insights from Normalized Difference Vegetation Index Data. *Journal of Climate*. 2014, **27**(7), 2509-2532 [cit. 2016-04-22]. DOI: 10.1175/JCLI-D-13-00365.1. ISSN 0894-8755.
- POKORNÁ, Lucie a Radan HUTH. Climate impacts of the NAO are sensitive to how the NAO is defined. *Theoretical and Applied Climatology*. 2015, **119**(3 - 4), 639 - 652. DOI: 10.1007/s00704-014-1116-0. ISBN 10.1007/s00704-014-1116-0.
- POZO-VÁZQUEZ, D., S. R. GÁMIZ-FORTIS, J. TOVAR-PESCADOR, M. J. ESTEBAN-PARRA a Y. CASTRO-DÍEZ. El Niño-Southern Oscillation Events and Associated European Winter Precipitation Anomalies. *International Journal of Climatology*. Royal Meteorological Society, 2005, **25**, 17 - 31. DOI: 10.1002/joc.1097.
- RISBEY, J. S., M. J. POOK, P. C. MCINTOSH, C. C. UMMENHOFER, and G. MEYERS. Characteristics and variability of synoptic features associated with cool season rainfall in southeastern Australia. *Int. J. Climatol.*, 2009, 29, 1595–1613.
- RODÓ, X., E. BAERT a F. A. COMÍN. Variations in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century: relationships with the North Atlantic Oscillation and the El Niño-Southern Oscillation. *Climate Dynamics*. 1997, **13**(1977), 275 - 284.
- ROPELEWSKI, C.F. a M.S. HALPERT. Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño-Southern Oscillation. *Mon. Weather Rev.* 1987, **115**(8), 1606 - 1626.
- SLINGO, Julia. The Indian Summer Monsoon and its Variability. In: NAVARRA, Antonio (ED.). *Beyond El Niño decadal and interdecadal climate variability*. Berlin: Springer, 1999. ISBN 9783642583698.
- SMITH C.A., P. SARDESHMUKH. The Effect of ENSO on the In- traseasonal Variance of Surface Temperature in Winter. *International Journal of Climatology*. 2000, 20, 1543–1557.
- Southern Oscillation Index (SOI). *National Centers for Environmental Information (NCEI): Teleconnections* [online]. National Centers for Environmental Information (NCEI), 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/>
- STEINHOFF, Daniel F., Andrew J. MONAGHAN a Martyn P. CLARK. Projected impact of twenty-first century ENSO changes on rainfall over Central America and northwest South America from CMIP5 AOGCMs. *Climate Dynamics*. 2015, **44**(5-6), 1329-1349. DOI: 10.1007/s00382-014-2196-3. ISSN 0930-7575.
- SUN, Xun, Benjamin RENARD, Mark THYER, Seth WESTRA a Michel LANG. A global analysis of the asymmetric effect of ENSO on extreme precipitation. *Journal of Hydrology*. 2015, (530), 51 - 65.
- TRENBERTH, Kevin E. Short-Term Climate Variations: Recent Accomplishments and Issues for Future Progress. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1997a, **78**(6), 1081 - 1096.

- TRENBERTH, Kevin E. The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*. American Meteorological Society, 1997b, **78**(12), 2771 - 2777.
- TURNER, John. The El Niño–southern oscillation and Antarctica. *International Journal of Climatology*. 2004, **24**(1), 1-31. DOI: 10.1002/joc.965. ISSN 0899-8418.
- WANG, Chunzai a Paul C. FIEDLER. ENSO variability and the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*. 2006,**69**(2-4), 239-266. DOI: 10.1016/j.pocean.2006.03.004. ISSN 00796611.
- WANG, C., and J. PICAUT, Understanding ENSO physics - A review, in *Earth's Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction*, Geophysical Monograph Series, Volume 147, edited by C. Wang, S.-P. Xie, and J. A. Carton, pp. 21-48, AGU, Washington, D. C., 2004.
- WHERE IT'S WINTRY AND WHERE IT'S NOT: LA NIÑA AT THE HELM. *UCAR: AtmosNews* [online]. Boulder: UCAR, 2010 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <https://www2.ucar.edu/atmosnews/perspective/3291/where-its-wintery-and-where-its-not-la-ni-helm>
- WOLTER, Klaus a Michael S. TIMLIN. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *International Journal of Climatology*. Royal Meteorological Society, 2011, **31**, 1074 - 1087. DOI: 10.1002/joc.2336. ISBN 10.1002/joc.2336.
- ZHANG, Lixia a Tianjun ZHOU. Drought over East Asia: A Review. *Journal of Climate*. 2015, **28**(8), 3375-3399. DOI: 10.1175/JCLI-D-14-00259.1. ISSN 0894-8755.